



TUGAS AKHIR - TE 141599

**Studi Stabilitas Transien Akibat Perubahan Konfigurasi
Jaringan Transmisi JAMALI 500kV dengan Penambahan
Kapasitas Pembangkit 5200 MW Tahun 2025**

**Fajar Rahman Friansah
NRP 2215105070**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**Studi Stabilitas Transien Akibat Perubahan Konfigurasi
Jaringan Transmisi JAMALI 500kV dengan Penambahan
Kapasitas Pembangkit 5200 MW Tahun 2025**

Fajar Rahman Friansah
NRP 2215105070

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Studi Stabilitas Transien akibat Perubahan Konfigurasi Jaringan Transmisi JAMALI 500kV dengan Penambahan Kapasitas Pembangkit 5200 MW Tahun 2025”** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2018

Fajar Rahman Friansah
Nrp. 2215105070

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

**STUDI STABILITAS TRANSIEN AKIBAT PERUBAHAN
KONFIGURASI JARINGAN TRANSMISI JAMALI 500KV DENGAN
PENAMBAHAN KAPASITAS PEMBANGKIT 5200 MW TAHUN 2025**

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.

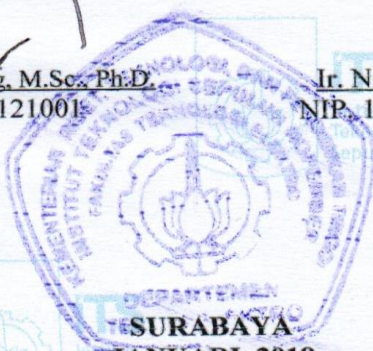
NIP. 194907151974121001

Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

NIP. 196509011991032002

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



**SURABAYA
JANUARI, 2018**

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Studi Stabilitas Transien Akibat Perubahan Konfigurasi Jaringan Transmisi JAMALI 500kV dengan Penambahan Kapasitas Pembangkit 5200 MW Tahun 2025

Nama : Fajar Rahman Friansah
NRP : 07111545000070
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ABSTRAK

Setiap tahun kebutuhan listrik di Indonesia khususnya Pulau Jawa semakin meningkat. Pemerintah melalui PT. PLN merencanakan pengembangan kapasitas dan energi listrik guna mengatasi meningkatnya kebutuhan tersebut. Sehingga pada tahun 2025 sistem kelistrikan di Jawa-Madura-Bali merencanakan penambahan kapasitas pembangkit sebesar 5200 MW dan penambahan saluran serta kapasitas beban. Dengan adanya penambahan tersebut, maka perlu dilakukan studi kestabilan transien untuk mengetahui kestabilan sistem saat terjadi gangguan transien. Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi analisis kestabilan transien menggunakan software ETAP 12.6 dengan studi kasus diantaranya pelepasan generator, pelepasan saluran dan hubung singkat. Cara memperbaiki kestabilan transien dengan metode yaitu untuk gangguan hubung singkat 3 fasa dengan menentukan *critical clearing time* dan untuk gangguan 1 fasa ke tanah digunakan metode menentukan *single pole auto reclosing time*. Dan didapatkan hasil analisis kestabilan transien untuk gangguan pelepasan generator dan pelepasan saluran sistem masih dalam keadaan stabil. sedangkan untuk gangguan hubung singkat 3 fasa saluran Muara Tawar-Bekasi pada beban puncak, waktu pemutusan kritis sudut rotor stabil dan frekuensi dalam *range* aman adalah 0.264 detik. Dan untuk gangguan 1 fasa ke tanah didapatkan pemutusan saluran 0.2 detik dan penutupan kembali 0.9 detik.

Kata Kunci : penambahan pembangkit, kestabilan transien, *critical clearing time*, *single pole auto reclosing time*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Transient Stability Study Due to Changes in The Configuration of 500kV Transmission Network with The Additional of Generating Capacity of 5200 MW in 2025

Name : Fajar Rahman Friansah

NRP : 07111545000070

Counsellor Lecturer 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.

Counsellor Lecturer 2 : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ABSTRACT

Every year the demand for electricity in Indonesia especially Java Island is increasing. The government through PT. PLN is planning to develop electrical energy and capacity to overcome the increasing need. Therefore in 2025, the electricity system in Java-Madura-Bali is planned to add more generating capacity of 5200 MW as well as adding line and capacity. With this addition, it is necessary to conduct transient stability study to know the stability system when transient disturbance occurs. In this final project, simulation of transient stability analysis is conducted by using ETAP 12.6 with case study such as the release of generator, line and short circuit. How to fix transient stability, the following methods are used; for interference of three phase short circuit is by determining critical clearing time and for one phase to the ground disruption is by using a method of single pole auto reclosing time. And the result of the transient stability analysis for disruption generator and system channel discharge is still in stable condition. As for three phase short circuit interference of Muara Tawar-Bekasi line at peak load, the critical disconnection time of the stable rotor angle and frequency in safe range is 0.264 seconds. And for one phase to the ground disruption, the line breaking is 0.2 seconds and the line reclosing is 0.9 second.

Keywords : addition generating, transient stability, critical clearing time, single pole auto reclosing.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul :

Studi Stabilitas Transien Akibat Perubahan Konfigurasi Jaringan Sistem Transmisi Jamali 500 kV dengan Penambahan Kapasitas Pembangkit 5200 MW Tahun 2025

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis berharap diperlukan adanya studi lanjut tentang implementasi pada kemudian hari. Dan besar harapan penulis agar buku Tugas Akhir ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan untuk pembacanya.

Pada Tugas Akhir ini penulis juga menyadari dalam penyusunan buku ini terdapat kekurangan, maka dari itu penulis berharap mendapatkan kritik dan saran yang membangun.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, saya sebagai penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. ALLAH subhanahu wa ta'ala karena tanpaNya penulis tidak akan bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua Orang tua saya yang selalu medoakan, memberikan semangat dan memberikan motivasi agar saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang selaku dosen pembimbing pertama yang telah bersedia memberikan saya plan untuk Tugas Akhir dan selalu memberikan bimbingan dalam mengerjakan Tugas Akhir dan membimbing untuk menyelesaikan masalah, sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. Ni Ketut Aryani, MT. selaku dosen pembimbing kedua yang telah selalu memberikan masukan dalam mengerjakan Tugas Akhir dan bimbingan untuk dapat menyelesaikan masalah dan telah memberi masukan dalam buku agar Tugas Akhir ini dapat selesai tepat pada waktunya.
5. Teman-teman sistem tenaga lintas jalur 2015 khususnya yang mengambil plan Jawa-Madura-Bali yaitu Anizar, adi, redho, ozi, tiar, vita, asyraf, apri, dan dito yang selalu memberikan info dalam pengerjaan Tugas Akhir dan info untuk bimbingan serta memberikan motivasi dan semangat saat pengerjaan Tugas Akhir.
6. Semua pihak yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membantu penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Serta kepada semua pihak yang telah mebanut dalam masa perkuliahan dan pengerjaan Tugas Akhir

Besar harapan penulis dalam buku Tugas Akhir ini bisa memberikan masukan dan manfaat bagi pembaca. Penulis juga berharap mendapatkan kritik dan saran yang dapat membangun agar lebih baik lagi. Terima kasih

Surabaya, Januari 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xix

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang	1
1.2	Permasalahan dan Batasan Masalah	1
1.3	Tujuan	2
1.4	Metode Penelitian	2
1.5	Sistematika Pembahasan	3
1.6	Relevansi	4

BAB 2 DASAR TEORI

2.1	Kestabilan dalam Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1	Kestabilan Sudut Rotor	6
2.1.2	Kestabilan Tegangan	7
2.1.3	Kestabilan Frekuensi	7
2.2	Kestabilan Transien	8
2.3	Persamaan Ayunan dan Dinamika Rotor	9
2.4	Beberapa Gangguan yang mempengaruhi Kestabilan	13
2.4.1	Menambahkan Beban dengan tiba-tiba	13
2.4.2	Hubung Singkat	13
2.4.3	Starting Motor	14
2.5	Metode Mempertahankan Stabilitas Sistem dari Gangguan	14
2.5.1	Pemutus Rangkaian yang Cepat (High Speed CB)	14
2.5.2	Pelepasan Beban (<i>Load Shedding</i>)	14
2.5.3	Mengurangi Reaktansi Seri pada Saluran	15
2.5.4	Menaikkan Konstanta Inersia Generator	15

2.6	Critical Clearing Time (CCT)	15
2.7	Auto Recloser	15
2.7.1	Jenis Auto Reclose.....	16
2.7.2	Waktu Penutupan Kembali (<i>Dead Time</i>).....	16
2.8	Standar yang Berhubungan dengan Kestabilan Transient	17
2.8.1	Standar <i>Voltage Sag</i>	17
2.8.2	Standar Tegangan	18
2.8.3	Standar Frekuensi	19
2.8.4	Standar Clearing Time	20

BAB 3 DATA DAN METODOLOGI

3.1	Penambahan Pembangkit Pada Sistem Transmisi Jawa-Madura-Bali (Jamali) 500kV pada Tahun 2025	21
3.2	Sistem Transmisi Jawa-Madura-Bali (Jamali) 500kV pada Tahun 2025	21
3.3	Data Saluran Transmisi Jamali pada Tahun 2019	22
3.4	Kapasitas dan Pembangkitan Jamali pada Tahun 2019	26
3.5	Data Pembebanan GITET Jamali pada Tahun 2019.....	27
3.6	Metodologi Simulasi	29

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS

4.1	Studi Kasus Kestabilan Transien pada Sistem Transmisi Jamali 500 kV pada Tahun 2025	33
4.2	Kondisi Beban Puncak	38
4.2.1	Pelepasan Pembangkit	38
4.2.1.1	PLTU Indramayu Lepas dari Sistem pada t=1s.....	38
4.2.1.2	PLTU Bojanegara 1 Lepas dari Sistem pada t=1s.....	40
4.2.1.3	PLTU Suralaya Baru 3 Lepas dari Sistem pada t=1s.....	43
4.2.2	Pelepasan Satu Saluran dari Saluran Ganda Tanpa Gangguan	45
4.2.2.1	Satu Saluran dari Saluran Cikupa-Balaraja Lepas dari Sistem pada t=1s.....	45
4.2.2.2	Satu Saluran dari Saluran Kembangan-Cikupa Lepas dari Sistem pada t=1s.....	48
4.2.2.3	Satu Saluran dari Saluran Balaraja-Lekong Lepas dari Sistem pada t=1s.....	50

4.2.3	Pelepasan Saluran Ganda Tanpa Gangguan	53
4.2.3.1	Saluran Cikupa-Balaraja Lepas dari Sistem pada $t=1s$	53
4.2.3.2	Saluran Kembangan-Cikupa Lepas dari Sistem pada $t=1s$	55
4.2.3.3	Saluran Balaraja-Lekong Lepas dari Sistem pada $t=1s$	58
4.2.4	<i>Critical Clearing Time(CCT)</i>	60
4.2.4.1	Hubung Singkat 3 Fasa Saluran Muara Tawar- Bekasi(dekat Bus Muara Tawar)	60
4.2.4.2	Hubung Singkat 3 Fasa Saluran Gandul-Depok (dekat Bus Depok)	64
4.2.4.3	Hubung Singkat 3 Fasa Saluran Kembangan- Durikosambi(dekat Bus Kembangan)	68
4.2.5	<i>Single Pole Auto Reclosing Time</i>	72
4.2.5.1	Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Saluran Muara Tawar-Bekasi(dekat Bus Muara Tawar)	73
4.2.5.2	Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Saluran Suralaya-Suralaya Baru(dekat Bus Suralaya) ...	75
4.2.5.3	Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Saluran Banten -Suralaya Baru(dekat Bus Banten)	77
4.3	Kondisi Beban Dasar	79
4.3.1	Pelepasan Pembangkit	79
4.3.1.1	PLTU Bojanegara 2 Lepas dari Sistem pada $t=1s$	80
4.3.1.2	PLTU Cirebon Lepas dari Sistem pada $t=1s$	82
4.3.1.3	PLTU Cilacap 2 Lepas dari Sistem pada $t=1s$	84
4.3.2	Pelepasan Satu Saluran dari Saluran Ganda Tanpa Gangguan	87
4.3.2.1	Satu Saluran dari Saluran Cilamaya-Cibatu 2 Lepas dari Sistem pada $t=1s$	87
4.3.2.2	Satu Saluran dari Saluran Kembangan-Cikupa Lepas dari Sistem pada $t=1s$	90
4.3.2.3	Satu Saluran dari Saluran Balaraja-Lekong Lepas dari Sistem pada $t=1s$	92
4.3.3	Pelepasan Saluran Ganda Tanpa Gangguan	94
4.3.3.1	Saluran Cilamaya-Cibatu 2 Lepas dari Sistem pada $t=1s$	94

4.3.3.2	Saluran Kembangan-Cikupa Lepas dari Sistem pada $t=1s$	97
4.3.3.3	Saluran Balaraja-Lekong Lepas dari Sistem pada $t=1s$	99
4.3.4	<i>Critical Clearing Time</i> (CCT).....	102
4.3.4.1	Hubung Singkat 3 Fasa Saluran Muara Tawar-Bekasi(dekat Bus Muara Tawar)	102
4.3.4.2	Hubung Singkat 3 Fasa Saluran Gandul-Depok (dekat Bus Depok)	106
4.3.4.3	Hubung Singkat 3 Fasa Saluran Cibinong-Depok(dekat Bus Cibinong).....	110
4.3.5	<i>Single Pole Auto Reclosing</i>	114
4.3.5.1	Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Saluran Muara Tawar-Priok (dekat Bus Muara Tawar)	115
4.3.5.2	Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Saluran Gandul-Depok(dekat Bus Gandul)	117
4.3.5.3	Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Saluran Bekasi-Muara Tawar(dekat Bus Bekasi).....	119

BAB 5 PENUTUP

5.1.	Kesimpulan	123
5.2.	Saran	124

DAFTAR PUSTAKA	125
-----------------------------	-----

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1	Kestabilan sistem tenaga 6
Gambar 2.2	Kurva hubungan P dan δ generator saat gangguan 8
Gambar 2.3	Penggambaran rotor pada generator dengan arah putar dari torsi elektrik dan mekanik 10
Gambar 2.4	Standar <i>Voltage Sag</i> , SEMI F47 17
Gambar 2.5	standar frekuensi abnormal untuk generator pembangkit uap tenaga 19
Gambar 3.1	Sistem transmisi Jamali 500 kV pada tahun 2025 22
Gambar 3.2	Flow chart metodologi simulasi 30
Gambar 4.1	Respon sudut rotor saat lepasnya generator Indramayu 39
Gambar 4.2	Respon frekuensi saat lepasnya generator Indramayu 39
Gambar 4.3	Respon tegangan saat lepasnya generator Indramayu 40
Gambar 4.4	Respon sudut rotor saat lepasnya generator Bojanegara 1 41
Gambar 4.5	Respon frekuensi saat lepasnya generator Bojanegara 1 42
Gambar 4.6	Respon tegangan saat lepasnya generator Bojanegara 1 42
Gambar 4.7	Respon sudut rotor saat lepasnya generator Suralaya Baru 3 43
Gambar 4.8	Respon frekuensi saat lepasnya generator Suralaya Baru 3 44
Gambar 4.9	Respon tegangan saat lepasnya generator Suralaya Baru 3 45
Gambar 4.10	Respon sudut rotor saat lepasnya satu saluran dari Saluran Cikupa menuju ke Balaraja 46
Gambar 4.11	Respon frekuensi saat lepasnya satu saluran dari Saluran Cikupa menuju ke Balaraja 47
Gambar 4.12	Respon tegangan saat lepasnya satu saluran dari Saluran Cikupa menuju ke Balaraja 47
Gambar 4.13	Respon sudut rotor saat lepasnya satu saluran dari

	Saluran Kembangan menuju ke Cikupa	48
Gambar 4.14	Respon frekuensi saat lepasnya satu saluran dari Saluran Kembangan menuju ke Cikupa	49
Gambar 4.15	Respon tegangan saat lepasnya satu saluran dari Saluran Kembangan menuju ke Cikupa	50
Gambar 4.16	Respon sudut rotor saat lepasnya satu saluran dari Saluran Balaraja menuju ke Lekong	51
Gambar 4.17	Respon frekuensi saat lepasnya satu saluran dari Saluran Balaraja menuju ke Lekong	51
Gambar 4.18	Respon tegangan saat lepasnya satu saluran dari Saluran Balaraja menuju ke Lekong	52
Gambar 4.19	Respon sudut rotor saat lepasnya Saluran Cikupa menuju ke Balaraja.....	53
Gambar 4.20	Respon frekuensi saat lepasnya Saluran Cikupa menuju ke Balaraja.....	54
Gambar 4.21	Respon tegangan saat lepasnya Saluran Cikupa menuju ke Balaraja.....	55
Gambar 4.22	Respon sudut rotor saat lepasnya Saluran Kembangan menuju ke Cikupa	56
Gambar 4.23	Respon frekuensi saat lepasnya Saluran Kembangan menuju ke Cikupa	56
Gambar 4.24	Respon tegangan saat lepasnya Saluran Kembangan menuju ke Cikupa	57
Gambar 4.25	Respon sudut rotor saat lepasnya Saluran Balaraja menuju ke Lekong.....	58
Gambar 4.26	Respon frekuensi saat lepasnya Saluran Balaraja menuju ke Lekong.....	59
Gambar 4.27	Respon tegangan saat lepasnya Saluran Balaraja Saluran Balaraja menuju ke Lekong	59
Gambar 4.28	Sudut rotor tidak stabil kritis, CB Open 0.365 detik ...	61
Gambar 4.29	Frekuensi range tidak aman, CB open 0.365 detik.....	61
Gambar 4.30	Sudut rotor stabil, CB Open 0.364 detik	62
Gambar 4.31	Frekuensi range tidak aman, CB open 0.364 detik.....	62
Gambar 4.32	Sudut rotor stabil, CB Open 0.262 detik	63
Gambar 4.33	Frekuensi range aman, CB open 0.262 detik.....	64
Gambar 4.34	Sudut rotor tidak stabil kritis, CB Open 0.36 detik	65
Gambar 4.35	Frekuensi range tidak aman, CB open 0.36 detik.....	65
Gambar 4.36	Sudut rotor stabil, CB Open 0.359 detik	66
Gambar 4.37	Frekuensi range tidak aman, CB open 0.359 detik.....	66

Gambar 4.38	Sudut rotor stabil, CB Open 0.268 detik	67
Gambar 4.39	Frekuensi range aman, CB open 0.268 detik.....	68
Gambar 4.40	Sudut rotor tidak stabil kritis, CB Open 0.394 detik ...	69
Gambar 4.41	Frekuensi range tidak aman, CB open 0.394 detik.....	69
Gambar 4.42	Sudut rotor stabil, CB Open 0.393 detik	70
Gambar 4.43	Frekuensi range tidak aman, CB open 0.393 detik.....	70
Gambar 4.44	Sudut rotor stabil, CB Open 0.297 detik	71
Gambar 4.45	Frekuensi range aman, CB open 0.297 detik.....	72
Gambar 4.46	Respon sudut rotor untuk percobaan pertama	73
Gambar 4.47	Respon frekuensi untuk percobaan pertama.....	74
Gambar 4.48	Respon tegangan untuk percobaan pertama	74
Gambar 4.49	Respon sudut rotor untuk percobaan kedua	75
Gambar 4.50	Respon frekuensi untuk percobaan kedua	76
Gambar 4.51	Respon tegangan untuk percobaan kedua	77
Gambar 4.52	Respon sudut rotor untuk percobaan ketiga	78
Gambar 4.53	Respon frekuensi untuk percobaan ketiga.....	78
Gambar 4.54	Respon tegangan untuk percobaan ketiga	79
Gambar 4.55	Respon sudut rotor saat lepasnya generator Bojanegara 2	80
Gambar 4.56	Respon frekuensi saat lepasnya generator Bojanegara 2	81
Gambar 4.57	Respon tegangan saat lepasnya generator Bojanegara 2	82
Gambar 4.58	Respon sudut rotor saat lepasnya generator Cirebon.....	83
Gambar 4.59	Respon frekuensi saat lepasnya generator Cirebon.....	83
Gambar 4.60	Respon tegangan saat lepasnya generator Cirebon.....	84
Gambar 4.61	Respon sudut rotor saat lepasnya generator Cilacap 2	85
Gambar 4.62	Respon frekuensi saat lepasnya generator Cilacap 2	86
Gambar 4.63	Respon tegangan saat lepasnya generator Cilacap 2	86
Gambar 4.64	Respon sudut rotor saat lepasnya satu saluran dari Saluran Cilamaya menuju ke Cibat 2	88
Gambar 4.65	Respon frekuensi saat lepasnya satu saluran dari Saluran Cilamaya menuju ke Cibat 2	88

Gambar 4.66	Respon tegangan saat lepasnya satu saluran dari Saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2	89
Gambar 4.67	Respon sudut rotor saat lepasnya satu saluran dari Saluran Kembangan menuju ke Cikupa	90
Gambar 4.68	Respon frekuensi saat lepasnya satu saluran dari Saluran Kembangan menuju ke Cikupa	91
Gambar 4.69	Respon tegangan saat lepasnya satu saluran dari Saluran Kembangan menuju ke Cikupa	91
Gambar 4.70	Respon sudut rotor saat lepasnya satu saluran dari Saluran Balaraja menuju ke Lekong	92
Gambar 4.71	Respon frekuensi saat lepasnya satu saluran dari Saluran Balaraja menuju ke Lekong	93
Gambar 4.72	Respon tegangan saat lepasnya satu saluran dari Saluran Balaraja menuju ke Lekong	94
Gambar 4.73	Respon sudut rotor saat lepasnya Saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2	95
Gambar 4.74	Respon frekuensi saat lepasnya Saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2	96
Gambar 4.75	Respon tegangan saat lepasnya Saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2	96
Gambar 4.76	Respon sudut rotor saat lepasnya Saluran Kembangan menuju ke Cikupa	97
Gambar 4.77	Respon frekuensi saat lepasnya Saluran Kembangan menuju ke Cikupa	98
Gambar 4.78	Respon tegangan saat lepasnya Saluran Kembangan menuju ke Cikupa	99
Gambar 4.79	Respon sudut rotor saat lepasnya Saluran Balaraja menuju ke Lekong.....	100
Gambar 4.80	Respon frekuensi saat lepasnya Saluran Balaraja menuju ke Lekong.....	100
Gambar 4.81	Respon tegangan saat lepasnya Saluran Balaraja Saluran Balaraja menuju ke Lekong	101
Gambar 4.82	Sudut rotor tidak stabil kritis, CB Open 0.486 detik .	103
Gambar 4.83	Frekuensi range tidak aman, CB open 0.486 detik....	103
Gambar 4.84	Sudut rotor stabil, CB Open 0.485 detik	104
Gambar 4.85	Frekuensi range tidak aman, CB open 0.485 detik....	104
Gambar 4.86	Sudut rotor stabil, CB Open 0.234 detik	105
Gambar 4.87	Frekuensi range aman, CB open 0.234 detik.....	106
Gambar 4.88	Sudut rotor tidak stabil kritis, CB Open 0.401 detik .	107

Gambar 4.89	Frekuensi range tidak aman, CB open 0.401 detik....	107
Gambar 4.90	Sudut rotor stabil, CB Open 0.4 detik	108
Gambar 4.91	Frekuensi range tidak aman, CB open 0.4 detik.....	108
Gambar 4.92	Sudut rotor stabil, CB Open 0.214 detik	109
Gambar 4.93	Frekuensi range aman, CB open 0.214 detik.....	110
Gambar 4.94	Sudut rotor tidak stabil kritis, CB Open 0.609 detik .	111
Gambar 4.95	Frekuensi range tidak aman, CB open 0.609 detik....	111
Gambar 4.96	Sudut rotor stabil, CB Open 0.608 detik	112
Gambar 4.97	Frekuensi range tidak aman, CB open 0.608 detik....	112
Gambar 4.98	Sudut rotor stabil, CB Open 0.261 detik	113
Gambar 4.99	Frekuensi range aman, CB open 0.261 detik.....	114
Gambar 4.100	Respon sudut rotor untuk percobaan pertama	115
Gambar 4.101	Respon frekuensi untuk percobaan pertama.....	116
Gambar 4.102	Respon tegangan untuk percobaan pertama	116
Gambar 4.103	Respon sudut rotor untuk percobaan kedua	117
Gambar 4.104	Respon frekuensi untuk percobaan kedua	118
Gambar 4.105	Respon tegangan untuk percobaan kedua	119
Gambar 4.106	Respon sudut rotor untuk percobaan ketiga	120
Gambar 4.107	Respon frekuensi untuk percobaan ketiga.....	120
Gambar 4.108	Respon tegangan untuk percobaan ketiga	121

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1	Waktu de-ionisasi..... 16
Tabel 2.2	Durasi <i>Voltage Sag</i> , SEMI F47 18
Tabel 2.3	Standar tegangan 18
Tabel 2.4	Konversi dari standar frekuensi 60 Hz ke 50 Hz..... 20
Tabel 3.1	Penambahan Pembangkit pada sistem transmisi JAMALI 500kV tahun 2025 21
Tabel 3.2	Data saluran sistem transmisi JAMALI 500 kV tahun 2025..... 23
Tabel 3.3	Data kapasitas pembangkit JAMALI tahun 2025 26
Tabel 3.4	Data pembebanan GITET transmisi JAMALI tahun 2025..... 27
Tabel 4.1	Aliran daya pada kondisi beban puncak..... 34
Tabel 4.2	Aliran daya pada kondisi beban dasar..... 34
Tabel 4.3	Hubung singkat 3 fasa pada kondisi beban puncak..... 35
Tabel 4.4	Hubung singkat 3 fasa pada kondisi beban dasar..... 35
Tabel 4.5	Hubung singkat 1 fasa ke tanah pada kondisi beban puncak 35
Tabel 4.6	Hubung singkat 1 fasa ke tanah pada kondisi beban dasar..... 36
Tabel 4.7	Studi kasus kestabilan transien..... 36

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini kebutuhan akan listrik di Indonesia setiap tahunnya semakin meningkat khususnya di Pulau Jawa. Berdasarkan RUPTL 2016-2025, Pemerintah melalui PT. PLN merencanakan pengembangan kapasitas dan energi listrik guna mengatasi meningkatnya kebutuhan tersebut. Sehingga pada tahun 2025 dilakukan perencanaan penambahan kapasitas pembangkit sebesar 5200 MW pada jaringan transmisi Jawa Bali 500KV. Dengan adanya penambahan tersebut, maka perlu dilakukan studi kestabilan transien untuk mengetahui kestabilan sistem saat terjadi gangguan transien.

Gangguan merupakan salah satu faktor penyebab ketidakstabilan pada sistem tenaga listrik. Gangguan yang berkaitan terhadap masalah stabilitas transien yaitu berhubungan dengan gangguan besar secara tiba-tiba seperti gangguan hubung singkat, kabel transmisi trip, serta pelepasan beban/generator secara tiba-tiba. Apabila terjadi gangguan tersebut dan gangguan tidak segera dihilangkan, maka percepatan atau perlambatan putaran rotor generator akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam sistem. Sebagai contoh adalah generator trip. Ketika terjadi generator trip, maka sudut rotor yang dibentuk oleh generator akan berubah menuju sudut rotor baru. Apabila setelah masa transien sudut rotor bisa mencapai kondisi kestabilan baru maka sistem dikatakan stabil. Sedangkan apabila setelah masa transien rotor tetap berosilasi dan tidak mencapai sudut kestabilan baru maka sistem dikatakan tidak stabil.

Ketika sistem tidak bisa kembali kebatas stabilnya, memungkinkan sistem tenaga listrik akan mengalami collapse atau pemadaman total. Sehingga perlu dilakukan analisis kestabilan transien ulang terhadap kinerja sistem secara keseluruhan untuk mendapatkan rekomendasi yang diperlukan pada saat terjadi gangguan transien.

1.2 Permasalahan dan Batasan Masalah

Hal yang menjadi permasalahan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yaitu bagaimana respon frekuensi dan tegangan serta sudut rotor ketika terjadi gangguan kestabilan transien saat penambahan pembangkit sebesar 5200 MW tahun 2025 dan bagaimana memperbaiki respon

tersebut ketika terjadi gangguan kestabilan transien saat penambahan pembangkit sebesar 5200 MW tahun 2025.

Untuk menyelesaikan masalah dalam Tugas Akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. *Software* yang digunakan adalah ETAP 12.6
2. Analisis dilakukan pada perencanaan Jaringan Transmisi JAMALI 500KV tahun 2025
3. Analisis difokuskan pada beberapa gangguan yaitu pelepasan salah satu pembangkit, gangguan akibat adanya *line trip*, dan gangguan hubung singkat 3 fasa dengan *critical clearing time (CCT)* serta gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dengan *single pole auto reclosing*.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini yaitu melaksanakan studi mengenai kestabilan transien pada perencanaan jaringan transmisi JAMALI 500KV tahun 2025 untuk mendapatkan rekomendasi yang diperlukan sehingga dicapai keandalan serta stabilitas yang layak dan mampu mengatasi setiap gangguan-gangguan yang mungkin terjadi antara lain gangguan lepasnya generator, hubung singkat dan line trip.

1.4 Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan Data

Penulis melakukan pengambilan data berupa data pembangkitan, trafo, beban maupun parameter saluran dari jaringan transmisi Jawa Madura Bali (JAMALI) tahun 2025.

2. Pengolahan Data

Setelah didapatkan data yang dibutuhkan, dilakukan pemodelan *single line diagram* dari sistem transmisi Jawa Madura Bali (JAMALI) tahun 2025 agar dapat dilakukan simulasi analisis aliran daya dengan menggunakan software ETAP 12.6.

3. Simulasi dan Analisis Data

Setelah dilakukan pemodelan *single line diagram* dan analisis aliran daya, dilakukan simulasi kestabilan transien dengan berbagai macam studi kasus penyebab kegagalan stabilitas transien seperti pelepasan pembangkit, pelepasan saluran dan hubung singkat. Kemudian dianalisis respon sudut rotor, frekuensi dan tegangan dari sistem ini.

4. Penarikan Kesimpulan Dan Penulisan Buku Laporan

Dari hasil analisis data dari running program yang dilakukan, penulis dapat menarik kesimpulan yang merupakan jawaban dari permasalahan.

1.5 Sistematika Pembahasan

Terdapat lima bab pada sistematika pembahasan penulisan dalam buku Tugas Akhir ini, sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Pada bab pendahuluan ini akan dibahas mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan dan relevansi.

BAB II : Dasar Teori

Pada bab ini secara garis besar akan diterangkan teori mengenai stabilitas transien, standar yang berkaitan dengan stabilitas transien.

BAB III : Metodologi dan Data

Pada bab ini membahas Sistem Transmisi Kelistrikan JAMALI 500 kV pada tahun 2025, data penambahan pembangkit tahun 2025, data saluran transmisi, kapasitas dan pembangkitan, data pembebanan Gidet dan metodologi simulasi dengan software ETAP 12.6.

BAB IV : Simulasi dan Analisis

Pada bab ini dilakukan simulasi dengan software ETAP 12.6 dengan disimulasikan gangguan generator trip, hubung singkat dan line trip. Dianalisis kestabilan transien dengan memperhatikan respon sudut rotor, frekuensi, dan tegangan.

BAB V : Penutup

Pada bab ini dijelaskan mengenai kesimpulan dan saran mengenai analisis kestabilan transient yang telah dibahas

1.6 Relevansi

Diharapkan dari Tugas Akhir ini mendapatkan hasil yang dapat bermanfaat dan bisa digunakan sebagai referensi pada analisa selanjutnya tentang analisis kestabilan transient sistem JAMALI 500 kV pada tahun 2025.

BAB 2

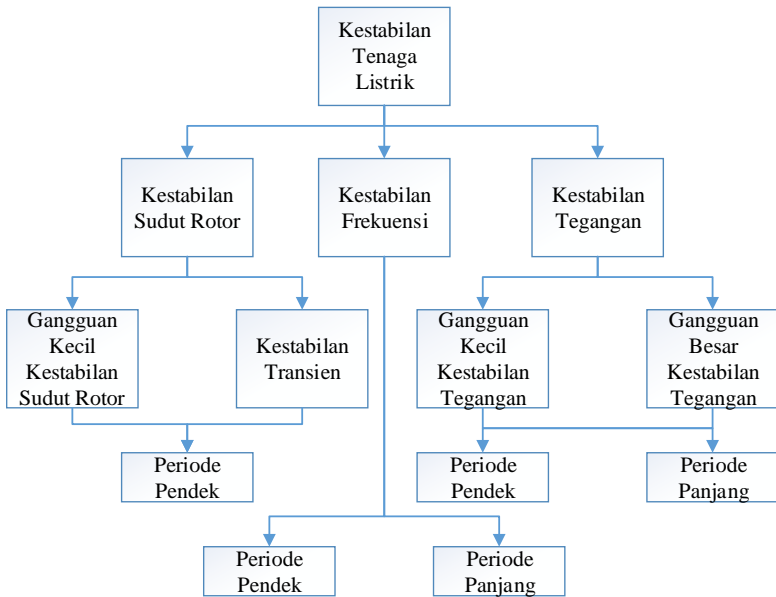
DASAR TEORI

2.1 Kestabilan dalam Sistem Tenaga Listrik

Definisi dari kestabilan dalam sistem tenaga listrik merupakan kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik yang memiliki 2 atau lebih mesin sinkron di dalamnya untuk dapat menjaga atau mempertahankan sistem agar tetap sinkron dan seimbang ketika terjadi kondisi tidak normal atau gangguan. Dalam pengelompokkan masalah kestabilan pada sistem tenaga listrik, terbagi menjadi 3 bagian baik yang berkaitan dengan gangguan kecil atau besar maupun dari bentuk gangguan, diantaranya[6]:

- [1] Kestabilan *Steady-State*
- [2] Kestabilan Transien
- [3] Kestabilan Dinamis

Terdapat dua jenis gangguan pada sistem tenaga listrik yang menyebabkan masalah kestabilan, yaitu gangguan kecil dan gangguan besar. Gangguan kecil disebabkan perubahan beban atau pembangkit secara acak, perlahan, dan bertingkat serta pemutusan jaringan sistem tenaga listrik yang tidak berpengaruh signifikan sebelum adanya gangguan. Sedangkan gangguan besar dikarenakan gangguan bersifat mendadak yang menyebabkan kejutan secara tiba-tiba di tegangan bus. Gangguan ini juga harus dihilangkan karena dapat mempengaruhi kestabilan sistem. Selain itu, kestabilan sistem juga dipengaruhi dengan panjang waktu gangguan. Sebagaimana yang dijelaskan pada gambar 2.1 berikut ini:



Gambar 2.1 Kestabilan Sistem Tenaga[2]

2.1.1 Kestabilan Sudut Rotor[2]

kestabilan sudut rotor merupakan kemampuan dari dua atau lebih mesin sinkron yang terhubung dalam sebuah sistem tenaga listrik untuk kembali dalam sinkronisasi setelah adanya gangguan. Selain itu, kestabilan sudut rotor juga berkaitan dengan isolasi elektromekanis dalam sebuah sistem tenaga. kestabilan sudut rotor sendiri dibagi menjadi dua kategori agar memudahkan dalam analisis yaitu:

1. gangguan kecil (*small – disturbance*) pada kestabilan sudut rotor bergantung terhadap kondisi awal operasi sistem. Pada gangguan ini, ketidakstabilan mungkin terjadi disebabkan oleh 2 hal diantaranya meningkatnya sudut rotor ketika dalam mode tanpa isolasi dan tidak periodik karena kekurangan torsi sinkronisasi, dan meningkatnya osilasi rotor karena torsi redaman yang tidak mencukupi.
2. Gangguan besar (*large – disturbance*) pada kestabilan sudut rotor atau dapat disebut kestabilan transient bergantung terhadap kondisi

awal operasi system dan tingkat keparahan dari gangguan yang terjadi. Pada gangguan ini, ketidakstabilan biasanya menghasilkan sudut rotor baru karena torsi sinkronisasi tidak mencukupi yang menyebabkan ketidakstabilan pada ayunan pertama.

2.1.2 Kestabilan Tegangan[2]

Kestabilan tegangan berkaitan dengan kesanggupan sistem untuk bisa mempertahankan tegangan agar tetap stabil dan kembali pada kondisi awal yang ditentukan pada semua bus setelah terjadi gangguan. Selain itu, kondisi tersebut juga bergantung terhadap sistem agar bisa bertahan atau menjaga keadaan seimbang antara permintaan dan suplai beban dari sistem tenaga listrik. Sistem yang tidak stabil bisa menyebabkan meningkatnya atau menurunnya tegangan pada beberapa bus. Dengan tidak stabilnya tegangan, dapat mengakibatkan terlepasnya beban atau transmisi disebabkan sistem proteksi bekerja terlalu cepat. Penyebab utama tidak stabilnya tegangan adalah kebutuhan daya reaktif meningkat diluar dari kapasitas daya reaktif yang tersedia ketika terjadi gangguan.

Sebagaimana kestabilan sudut rotor, kestabilan tegangan juga dibagi menjadi dua subkategori, yaitu:

1. Gangguan kecil (*small – disturbance*) pada kestabilan tegangan merupakan kemampuan sistem untuk mempertahankan keadaan tegangan agar tetap stabil setelah terjadi gangguan kecil seperti perubahan pada beban.
2. Gangguan besar (*large – disturbance*) pada kestabilan tegangan merupakan kemampuan sistem untuk mempertahankan tegangan agar tetap stabil setelah terjadi gangguan besar seperti pembangkit atau terlepasnya jaringan transmisi.

2.1.3 Kestabilan Frekuensi[2]

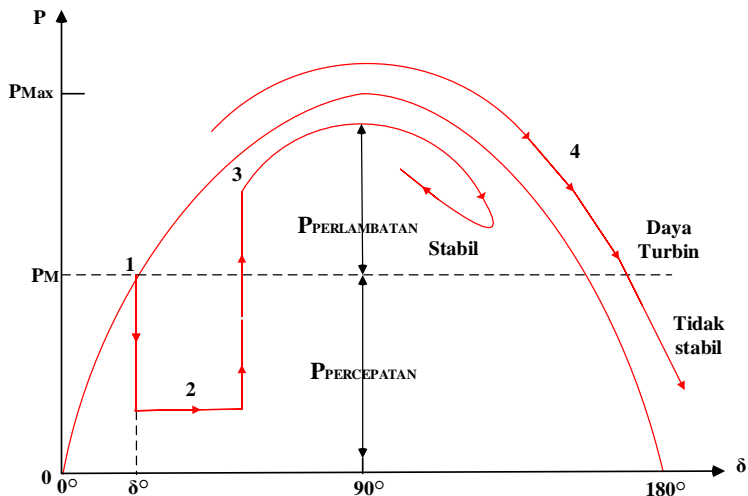
Kestabilan frekuensi merupakan kemampuan sistem untuk bisa mempertahankan frekuensi yang stabil ketika terjadi gangguan yang mengakibatkan ketidakseimbang antara daya yang dibangkitkan dan daya yang diminta beban. Kondisi tersebut juga bergantung terhadap kemampuan sistem untuk menajaga atau mengembalikan keseimbangan

antara pembangkit dan beban dengan adanya beban yang terlepas. Secara umum, kestabilan frekuensi berkaitan dengan ketidakmampuan dari respon peralatan, kordinasi dari peralatan kontrol yang kurang baik, dan daya cadangan pembangkitan (*spining reserve*) yang kurang.

2.2 Kestabilan Transien

Kestabilan transien merupakan kemampuan suatu sistem tenaga untuk bisa menjaga sinkronisasi sesudah terjadi gangguan yang besar secara tiba-tiba dalam waktu kurang lebih satu ayunan pertama, dimana AVR dan governor diasumsikan masih belum bekerja[6].

Analisis kestabilan transien berfungsi untuk mengetahui kemampuan sistem menjaga keadaan ketika transien akibat adanya gangguan yang besar, seperti motor starting yang besar, perubahan beban yang mendadak, terlepasnya pembangkit, dan terlepasnya saluran.



Gambar 2.2 Kurva hubungan P dan δ generator saat gangguan[6]

Analisis kestabilan transien yang diilustrasikan pada Gambar 2.2 diatas, menunjukkan respon dalam generator pada saat terjadi gangguan. Ada empat titik kerja yang dapat pada Gambar 2.2, diantaranya:

- (Titik kerja 1) Pada titik kerja awal menunjukkan kondisi normal sebelum adanya gangguan.
- (Titik kerja 2) Pada titik ini terjadi gangguan yang menyebabkan daya elektrik yang dihasilkan oleh generator menurun dengan sangat drastis. Perbedaan antara daya output listrik dan daya input mekanis turbin mengakibatkan rotor generator mengalami percepatan, sehingga menyebabkan sudut rotor atau daya bertambah besar.
- (Titik kerja 3) Ketika gangguan sudah hilang, daya output dari generator dapat pulih kembali pada nilai yang sesuai dengan kurva hubungan P dan δ .
- (Titik kerja 4) Pada titik ini setelah berakhirnya gangguan, daya elektrik dari generator lebih besar bila dibandingkan daya pada mekanis turbin. Kondisi ini menyebabkan melambatnya putaran rotor generator.

Ketika torsi lawan yang cukup setelah gangguan hilang untuk mengimbangi adanya percepatan yang muncul pada saat gangguan, maka generator dapat kembali stabil sesudah ayunan pertama dan dapat kembali dalam titik kerjanya dalam waktu sekitar setengah detik. Sedangkan apabila torsi yang dimiliki tidak cukup untuk melawan adanya percepatan, maka sudut rotor atau daya dapat terus membesar sampai tidak lagi sinkron dengan sistem.

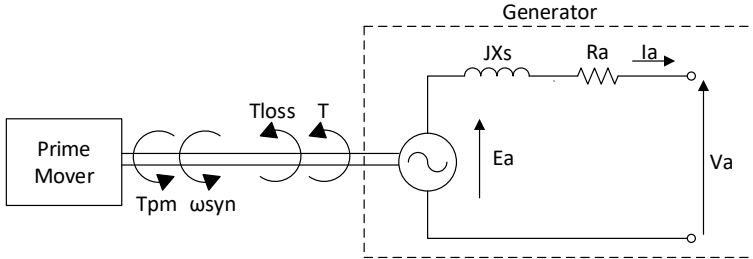
2.3 Persamaan Ayunan dan Dinamika Rotor[10]

Persamaan yang mengatur gerakan rotor suatu mesin serempak didasarkan pada prinsip dasar dinamika yang dituangkan dalam rumus :

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (2.1)$$

Dimana J adalah momen kelembaman total dari massa rotor yang dinyatakan dalam satuan kg-m². Dan θ_m adalah pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam (stationary) yang dinyatakan dalam satuan radian mekanis. Sedangkan t adalah Waktu yang dinyatakan dalam satuan detik. Lalu T_a adalah Momen putar percepatan bersih yang dinyatakan dalam satuan Nm. Sedangkan T_m adalah

Momen putar mekanis atau poros (penggerak) yang diberikan oleh penggerak mula dikurangi dengan momen putar perlambatan (retarding) yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran yang dinyatakan dalam satuan Nm. Dan terakhir T_e merupakan momen putar listrik atau elektromagnetis bersih yang dinyatakan dalam satuan Nm.



Gambar 2.3 Penggambaran rotor pada generator dengan arah putar dari torsi elektrik dan mekanik[10]

Dari persamaan (2.1) diukur θ_m ketika kondisi sumbu yang tidak bergerak, maka pengukuran posisi sudut rotor dengan putaran sumbu dengan kecepatan sinkron adalah seperti persamaan sebagai berikut:

$$\theta_m = \omega_m t + \delta_m \quad (2.2)$$

θ_m merupakan pergeseran sudut rotor pada sumbu yang berputar terhadap kecepatan sinkron dengan satuan radian. Dengan menurunkan persamaan (2.1) terhadap t pada persamaan (2.2) menghitung kecepatan putar pada rotor, sebagai berikut:

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} = \omega_{sm} + \frac{d\delta_m}{dt} \quad (2.3)$$

Dari persamaan (2.1) dan (2.3) didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$J \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = T_m - T_e \quad (2.4)$$

Dengan mengalikan persamaan (2.4) dengan ω_m , didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$J\omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad (2.5)$$

$J\omega_m$ yang dinyatakan dengan simbol M adalah momentum sudut rotor. Sehingga hubungan massa yang berputar dengan energi kinetik adalah

$$W_k = \frac{1}{2} J\omega_m^2 = \frac{1}{2} M\omega_m \quad (2.6)$$

Atau

$$M = \frac{2W_k}{\omega_m} \quad (2.7)$$

Apabila sebelum stabilitas hilang, ω_m tidak berubah. Maka M terhadap kecepatan serempak adalah

$$M = \frac{2W_k}{\omega_{sm}} \quad (2.8)$$

Sedangkan hubungan momen sudut dengan persamaan ayunan dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$M \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad (2.9)$$

Jika P merupakan jumlah kutub pada generator sinkron, maka persamaan hubungan antara sudut daya mekanis δ_m dengan sudut daya listrik δ adalah sebagai berikut:

$$\delta = \frac{P}{2} \delta_m \quad (2.10)$$

Sehingga hubungan antara sudut daya listrik dengan persamaan ayunan, sebagai berikut:

$$\frac{2}{P} M \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e \quad (2.11)$$

Persamaan yang dihasil dari mensubstitusikan persamaan (2.8) dengan persamaan (2.11) dan dibagi dengan S_B yang merupakan daya dasar adalah sebagai berikut:

$$\frac{2}{P} \frac{2W_k}{\omega_{sm} S_B} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{P_m - P_e}{S_B} \quad (2.12)$$

Energi kinetik atau MJ didefinisikan dari konstanta H pada kecepatan sinkron dibagi rating mesin atau MVA dengan persamaan sebagai berikut:

$$H = \frac{W_k}{S_B} \quad (2.13)$$

Hasil persamaan dari mensubstitusikan persamaan (2.12) dengan persamaan (2.13) adalah

$$\frac{2}{P} \frac{2H}{\omega_{sm}} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_{m(pu)} - P_{e(pu)} \quad (2.14)$$

Hubungan antara kecepatan putar mekanis dengan kecepatan elektrik adalah $\omega_{sm} = \frac{2}{p} \omega_0$, kemudian persamaannya dimasukkan kedalam persamaan (2.14) dan akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{2H}{\omega_0} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_{m(pu)} - P_{e(pu)} \quad (2.15)$$

Persamaan diatas dapat dinyatakan kedalam frekuensi atau f_0 dan disederhanakan persamaannya, kemudian merubah daya dari pu menjadi unit. Sehingga menjadi persamaan berikut:

$$\frac{2H}{\pi f_0} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_m - P_e \quad (2.16)$$

Dimana δ merupakan radian elektrik, jika δ dinyatakan dalam sudut elektrik. Maka akan menghasilkan persamaan ayunan sebagai berikut:

$$\frac{2H}{180 f_0} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_m - P_e \quad (2.17)$$

2.5 Beberapa Gangguan yang mempengaruhi Kestabilan

2.5.1 Menambahkan Beban dengan tiba-tiba

Gangguan peralihan akan terjadi apabila penambahan beban pada sistem tenaga listrik mengalami hal-hal berikut:

1. Apabila terjadi osilasi ketika penambahan beban, sehingga mengakibatkan ayunan sistem telah melewati titik kestabilan kritis yang tidak dapat kembali stabil.
2. Ketika kondisi reaktansi rangkaian dan kondisi tegangan tertentu, Jumlah beban melebihi batas kestabilan dengan keadaan yang mantap.

Apabila dilakukan pembebanan penuh secara tiba-tiba pada sistem tenaga listrik, maka akan menyebabkan kebutuhan arus yang besar dan mengakibatkan frekuensi akan turun dengan sangat cepat. Dengan kondisi tersebut walaupun nilai beban belum mencapai daya maksimumnya, maka akan tetap mengakibatkan sistem tidak sinkron. Hal ini disebabkan oleh keluaran generator berupa daya elektrik jauh melewati daya masukan mekanik generator atau pnggerak mula yang menghasilkan daya dan kekurangan tersebut dipenuhi dengan mengurangi energi kinetik dari generator. Sehingga mengakibatkan frekuensi sistem dan putaran generator akan menurun. Serta mengakibatkan sudut daya semakin besar dan melewati titik kritis kestabilan, sehingga menyebabkan generator tidak stabil atau akan lepas sinkron. Ketika dilakukan penambahan beban tersebut, rotor generator akan mendapatkan guncangan dan ayunan yang besar.

2.5.2 Hubung Singkat[9]

Gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan diakibatkan oleh hubung singkat. Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya hubung singkat diantaranya kegagalan isolasi, sambaran petir, binatang dan pohon tumbang atau ranting pohon.

Pada saat gangguan hubung singkat, arus yang sangat besar pada titik gangguan sehingga menyebabkan tegangan pada sekitar titik

gangguan akan turun secara signifikan. Motor induksi dan generator juga memberikan arus kontribusi yang menyebabkan arus yang besar pada titik gangguan.

2.5.3 Starting Motor

Ketika motor melakukan *starting*, maka motor akan menarik arus sebesar 5 – 6 kali dari arus nominalnya sampai putaran motor 80 – 90 % dari kecepatan normalnya. Sehingga saat *Starting* motor, kestabilan sistem dapat terganggu karena menyebabkan tegangan turun atau *voltage drop* pada sistem tenaga listrik.

Penurunan tegangan yang disebabkan *starting* motor dapat memperpendek usia dan berpengaruh kerja dari peralatan. Saat terjadinya drop tegangan yang telah melampaui standar atau batas yang dipakai pada peralatan kelistrikan, Hal tersebut dapat menyebabkan kestabilan sistem dapat terganggu

2.6 Metode Mempertahankan Stabilitas Sistem dari Gangguan

2.6.1 Pemutus Rangkaian yang Cepat (*High Speed Circuit Breaker*)

Pada saat terjadi gangguan, kestabilan pada sistem kelistrikan akan semakin baik apabila diisolir dengan cepat. Sebagaimana yang terdapat pada teori sama luas, bahwa sistem akan stabil setelah gangguan apabila luas area yang diredam (A2) lebih luas atau luasnya sama dengan area percepatan (A1). Waktu pemutus atau mengisolir saluran yang mengalami gangguan sangat menentukan luas area yang diredam dan area percepatan. Sehingga syarat untuk sistem tetap stabil akan terpenuhi apabila luasan area percepatan dibuat sekecil mungkin dibandingkan luas area yang diredam dengan mempercepat waktu pemutusan.

2.6.2 Pelepasan Beban (*Load Shedding*)

Pelepasan beban merupakan salah satu metode untuk menghindari keadaan *collapse* pada sistem tenaga listrik. Diantara gangguan yang biasa mengakibatkan sistem *collapse* karena sistem tidak dapat menanggung daya yang dibutuhkan beban yaitu pelepasan

pembangkit. Agar daya yang disuplai seimbang dengan daya kebutuhan beban, maka dilakukan pelepasan beban. Sedangkan pelepasan beban sendiri memiliki dua cara diantaranya pelepasan beban secara otomatis dan pelepasan beban secara manual

2.6.3 Mengurangi Reaktansi Seri pada Saluran

Apabila nilai reaktansi seri pada saluran diturunkan, daya yang dapat disalurkan pada saluran semakin besar, sehingga stabilitas sistem akan semakin meningkat.

2.6.4 Menaikkan Konstanta Inersia Generator

Dengan menaikkan nilai konstanta inersia dari generator, maka penambahan perubahan sudut δ akan berkurang dalam interval waktu tertentu. Yang menyebabkan circuit breaker memiliki waktu yang lebih lama untuk memutuskan rangkaian sebelum mesin melampaui sudut kritisnya. Agar semakin stabil suatu sistem, maka semakin besar konstanta inersia mesin. Akan tetapi dengan semakin besarnya konstanta inersia generator, maka ukuran mesin akan semakin besar pula. Yang berarti membutuhkan biaya besar sehingga tidak ekonomis dalam prakteknya.

2.7 Critical Clearing Time (CCT)

Pemutusan waktu kritis (*critical clearing time*) merupakan waktu kritis antara kondisi stabil dan tidak stabil yang diijinkan untuk menghilangkan gangguan dengan mengamati sudut rotor pada generator agar tetap sinkron pada sistem interkoneksi. Pada saat gangguan dihilangkan melebihi waktu kritis maka sistem tidak stabil yang menyebabkan lepas dari sistem. Sedangkan saat gangguan dihilangkan sebelum waktu kritis maka sistem akan stabil.

2.8 Auto Recloser[7]

Auto recloser adalah rele pada sistem proteksi yang bekerja untuk mengirim sinyal ke CB agar menutup kembali setelah pemadaman busur api pada CB proteksi fasa terbuka karena adanya gangguan yang bersifat sementara.

Ketika terjadi gangguan yang bersifat sementara, CB akan membuka pada kedua sisi saluran dan dengan segera dilakukan penutupan kembali CB dengan otomatis (*Auto Reclose*) agar menjaga kestabilan sistem dan ketersediaan daya yang disalurkan dalam sistem. Karena sebagian besar gangguan pada penyaluran udara ekstra tinggi dan tegangan tinggi yang terjadi bersifat sementara, maka dibutuhkan *Auto Reclose*.

2.8.1 Jenis *Auto Reclose*

Berdasarkan *Pole Tripping*, *Auto Reclose* dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. *Single pole auto reclose* (SPAR) bekerja karena gangguan 1 fasa ke tanah
2. *Three pole auto reclose* (TPAR) bekerja karena gangguan fasa-fasa

2.8.2 Waktu Penutupan Kembali (*Dead Time*)

Waktu penutupan kembali (*dead time*) adalah waktu tunda yang dibutuhkan CB untuk menutup kembali setelah CB terbuka karena adanya gangguan. Waktu tunda untuk CB menutup kembali dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya waktu minimal untuk menghilangkan deionisasi dan busur api setelah CB trip dan waktu maksimal berdasarkan kestabilan pada sistem.

Tabel 2.1 Waktu de-ionisasi

Tegangan Sistem (kV)	Waktu De-ionisasi (detik)
66	0.25
150	0.30
275	0.37
500	0.50

Bila melihat Tabel 2.1, maka untuk menentukan waktu penutupan kembali atau *dead time* adalah sebagai berikut:

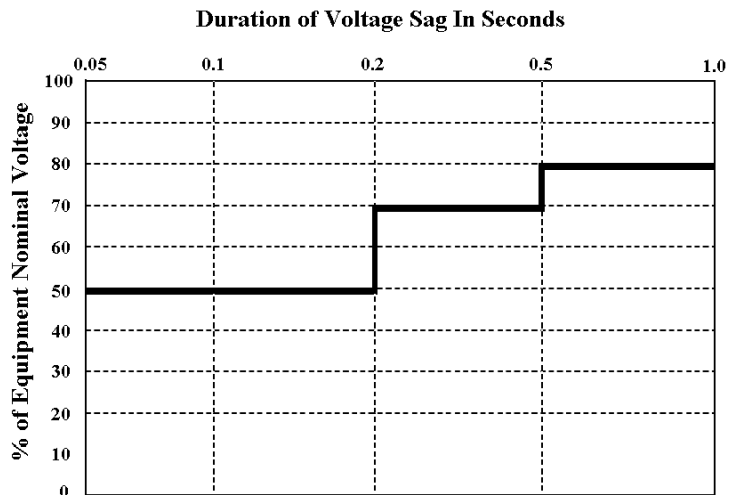
1. Jenis *single pole auto reclose* (SPAR) dengan waktu 0.8 – 1 detik

2. Jenis *three pole auto reclose cepat* (TPAR *high speed*) dengan waktu 1 – 2 detik
3. Jenis *three pole auto reclose lambat* (TPAR *low speed*) dengan waktu 2 – 3 detik

2.9 Standar yang Berhubungan dengan Kestabilan Transient

2.9.1 Standar *Voltage Sag*[5]

Voltage Sag adalah salah satu efek yang disebabkan oleh fenomena transien. *Voltage Sag* atau biasa dinamakan kedip tegangan adalah tegangan yang menurun dalam waktu yang sekejap atau singkat. Kedip tegangan biasanya disebabkan karena terjadinya gangguan seperti gangguan hubung singkat, *starting* motor, pelepasan jaringan atau penambahan beban. Berikut ini merupakan standar *voltage sag* SEMI F47 yang digambarkan pada Gambar 2.4 dibawah ini:



Gambar 2.4 Standar *Voltage Sag*, SEMI F47[5]

Pada Gambar 2.4 diatas terdapat standar lama waktu yang diperbolehkan untuk tiap nilai kedip tegangan. Pada saat nilai kedip

tegangan 50% dari tegangan nominalnya, maka durasi yang diperbolehkan yaitu selama 0.2 detik. Untuk kedip tegangan 70% selama 0.5 detik, dan 80% selama 1 detik. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Standar *Voltage Sag*, SEMI F47

VOLTAGE SAG DURATION				VOLTAGE SAG
Second (s)	Milliseconds (ms)	Cycles at 60 hz	Cycles at 50 hz	Percent (%) of Equipment Nominal Voltage
<0.05 s	<50	<3	<2.5	Not specified
0.05 to 0.2 s	50 to 200	3 to 12	2.5 to 10	50%
0.2 to 0.5 s	200 to 500	12 to 30	10 to 25	70%
0.5 to 1.0 s	500 to 1000	30 to 60	25 to 50	80%
>1.0 s	>1000	>60	>50	Not specified

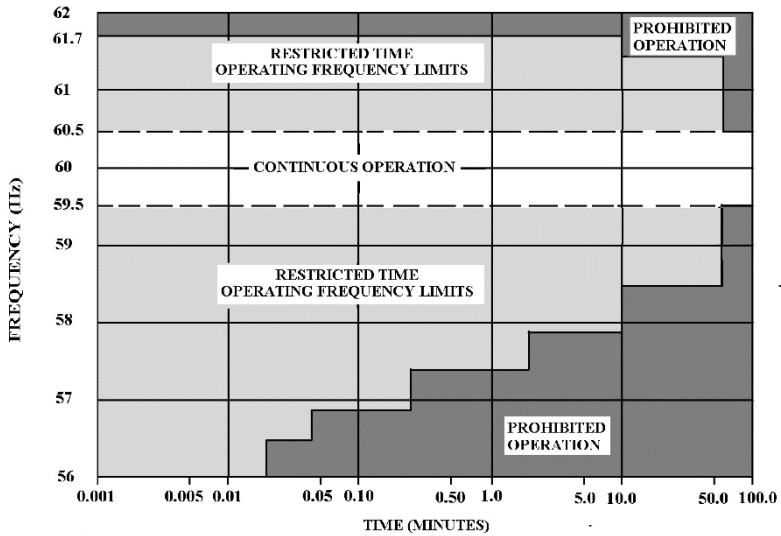
2.9.2 Standar Tegangan

Pada tegangan biasanya akan mengalami kenaikan atau penurunan disebabkan karena adanya gangguan. Untuk mengetahui naik atau turunnya tegangan dari nilai nominalnya yang diperbolehkan untuk sistem penyaluran di Indonesia maka digunakan standar dari PLN. Ketika tegangan dalam kondisi steady state, maka sistem harus mempertahankan tegangan yang dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini:

Tabel 2.3 Standar tegangan

Tegangan (kV)	Overvoltage	Undervoltage
20	+5%	-10%
70	+5%	-10%
150	+5%	-10%
500	+5%	-5%

2.9.3 Standar Frekuensi[3]



Gambar 2.5 Standar frekuensi abnormal untuk generator pembangkit tenaga uap[3]

Standar yang digunakan pada frekuensi abnormal untuk generator pembangkit uap saat frekuensi 60 Hz adalah IEEE Std C37.106-2003 seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Pada daerah berwarna putih menunjukkan daerah *continous operation* yang batas operasi frekuensi abnormalnya antara 59.5 Hz dan 60.5 Hz. Dan daerah yang berwarna sedikit gelap menunjukkan daerah terlarang frekuensi abnormal dalam batas waktu tertentu. Sedangkan daerah yang berwarna paling gelap merupakan daerah yang terlarang atau *prohibited operation* untuk *abnormal* frekuensi.

Analisis yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan frekuensi sistem sebesar 50 Hz. Karena standar yang digunakan yaitu frekuensi 60 Hz IEEE Std C37.106-2003, maka dilakukan konversi dari frekuensi 60 Hz menjadi frekuensi 50 Hz dapat yang dilihat pada Tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.4 Konversi dari standar frekuensi 60 Hz ke 50 Hz

<i>Underfrequency limit</i>	<i>Overfrequency limit</i>	<i>Minimum time</i>
50 – 49.583 Hz	50 – 50.417 Hz	N/A (<i>continuous operating range</i>)
49.5 – 48.75 Hz	50.5 – 51.25 Hz	3 <i>minutes</i>
48.667 – 48.25 Hz	51.333 – 51.417 Hz	30 <i>seconds</i>
48.167 – 47.833 Hz		7.5 <i>seconds</i>
47.75 – 47.417 Hz		45 <i>cycles</i>
47.333 – 47.083 Hz		7.2 <i>cycles</i>
<i>Less than 47 Hz</i>	<i>Greater than 51.417 Hz</i>	<i>Instantaneous trip</i>

2.9.4 Standar Clearing Time[8]

Pada saat sistem kelistrikan mengalami gangguan, pemutus saluran diharapkan dapat bekerja dengan cepat. Berdasarkan standar SPLN No 52-1 Tahun 1983, waktu yang digunakan untuk *clearing time* diklasifikasikan beberapa macam diantaranya sebagai berikut:

1. 70 kV *clearing time* \leq 150 mili detik
2. 150 kV *clearing time* \leq 120 mili detik
3. 275 kV *clearing time* \leq 100 mili detik
4. 500 kV *clearing time* \leq 90 mili detik

Sedangkan pengaman cadangan terhadap gangguan yang digunakan untuk *clearing time* adalah 500 mili detik.

BAB 3

DATA DAN METODOLOGI

3.1 Penambahan Pembangkit pada Sistem Transmisi Jawa-Madura-Bali (JAMALI) 500kV pada Tahun 2025

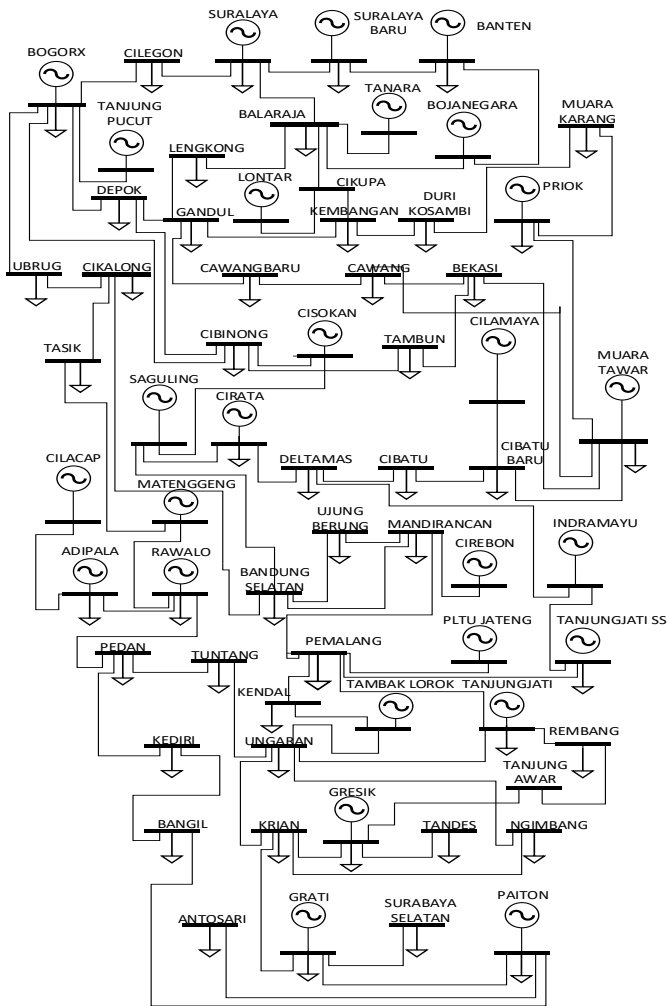
Pada tahun 2025, sistem transmisi JAMALI 500kV mengalami penambahan beberapa pembangkit yang dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1. Penambahan pembangkit pada sistem transmisi JAMALI 500 kV tahun 2025

No	PENAMBAHAN PEMBANGKIT	BUS	KAPASITAS (MW)
1	PLTU JAWA 6	SURALAYA BARU	1000
2	PLTU JAWA 6		1000
3	PLTGU JAWA 4	BOJANEGARA	800
4	PLTGU JAWA 7	CILAMAYA	800
5	PLTGU JAWA 6	TAMBAK LOROK	800
6	PLTGU JAWA 5	GRATI	800
TOTAL			5200

3.2 Sistem Transmisi Jawa-Madura-Bali (JAMALI) 500kV pada Tahun 2025

Untuk melakukan analisis kestabilan transient pada sistem transmisi JAMALI 500kV pada tahun 2025 dibutuhkan *single line diagram* yang digambarkan pada Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Sistem transmisi JAMALI 500 kV pada tahun 2025

3.3 Data Saluran Transmisi Jamali pada Tahun 2025

Untuk melakukan analisis dibutuhkan data saluran antar bus yang ditunjukkan pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2. Data saluran sistem transmisi JAMALI 500 kV tahun 2025

DARI BUS	KE BUS	R (Ohm)	X (Ohm)	Y (Siemen)	JARAK (km)
BANTEN	SURALAYA BARU	0.015422	0.125532	0.0000094	0.871
BANTEN	BOJANEGARA	0.015422	0.125532	0.0000094	11.61
SURALAYA	SURALAYA BARU	0.01011	0.12384	0.0000096	1.25
SURALAYA	CILEGON	0.012903	0.124794	0.0000095	12.48
SURALAYA	BALARAJA	0.015422	0.125532	0.0000094	62.759
PRIOK	MUARA KARANG	0.01011	0.12384	0.0000096	10
PRIOK	MUARA TAWAR	0.01011	0.12384	0.0000096	15
DURIKOSAMBI	MUARA KARANG	0.01011	0.12384	0.0000096	15
DURIKOSAMBI	KEMBANGAN	0.01011	0.12384	0.0000096	3
BALARAJA	CIKUPA	0.01011	0.12384	0.0000096	9.25
GANDUL	LEKONG	0.015422	0.125532	0.0000094	16
GANDUL	DEPOK	0.015422	0.125532	0.0000094	5.923
BOGORX	CILEGON	0.031013	0.281756	0.000004	115.26
BOGORX	DEPOK	0.015422	0.125532	0.0000094	25.54
BOGORX	CIBINONG	0.031013	0.281756	0.000004	22.47
KEMBANGAN	GANDUL	0.012903	0.124794	0.0000095	30.143
BOJANEGARA	BALARAJA	0.015422	0.125532	0.0000094	60
TANARA	BALARAJA	0.01011	0.12384	0.0000096	20.98
BEKASI	CAWANG	0.031013	0.281756	0.000004	16.84
BEKASI	MUARA TAWAR	0.031013	0.281756	0.000004	12.93
BEKASI	TAMBUN	0.015422	0.125532	0.0000094	10.56
TAMBUN	CIBINONG	0.015422	0.125532	0.0000094	21.91
DEPOK	CIBINONG	0.015422	0.125532	0.0000094	15.57
CIGRE	TASIK	0.012903	0.124794	0.0000095	85.01
CIGRE	BANDUNG SEL	0.012903	0.124794	0.0000095	12.78

Tabel 3.2. Data saluran sistem transmisi JAMALI 500 kV tahun 2025
(Lanjutan)

DARI BUS	KE BUS	R (Ohm)	X (Ohm)	Y (Siemen)	JARAK (km)
RAWALO	ADIPALA	0.01011	0.12384	0.0000096	13.83
RAWALO	PEDAN	0.012903	0.124794	0.0000095	196
PEDAN	KEDIRI	0.012903	0.124794	0.0000095	204.5
KEDIRI	BANGIL	0.012903	0.124794	0.0000095	85.7
PAITON	BANGIL	0.012903	0.124794	0.0000095	93.42
PAITON	WTDDL	0.01011	0.12384	0.0000096	131
WATUDODOL	SEGARARUPEK	0.01116	0.124705	0.0000095	4.12
SEGARARUPEK	ANTOSARI	0.01011	0.12384	0.0000096	102.4
PAITON	GRATI	0.012903	0.124794	0.0000095	88.363
MUARA TAWAR	CBATU-2	0.012903	0.124794	0.0000095	34.37
CIBATU	CBATU-2	0.012903	0.124794	0.0000095	5
CIBATU	DLTMS	0.012903	0.124794	0.0000095	2
CILAMAYA	CBATU-2	0.01011	0.12384	0.0000096	45.67
CIRATA	DELTAMAS	0.012903	0.124794	0.0000095	43.1
CIRATA	SAGULING	0.015422	0.125532	0.0000094	25.166
INDRAMAYU	DELTAMAS	0.01011	0.12384	0.0000096	90.17
CIBINONG	CISOKAN	0.012903	0.124794	0.0000095	68.61
CISOKAN	SAGULING	0.012903	0.124794	0.0000095	19.52
BANDUNG SEL	SAGULING	0.012903	0.124794	0.0000095	39
INDRAMAYU	TANJUNG JATI- SS	0.01011	0.12384	0.0000096	91.42
MANDIRACAN	CIREBON	0.01011	0.12384	0.0000096	10
MANDIRACAN	UJUNG BERUNG	0.031013	0.281756	0.000004	86.43
MANDIRACAN	PEMALANG	0.01011	0.12384	0.0000096	167
MANDIRACAN	BANDUNG SEL	0.01011	0.12384	0.0000096	119.3
TANJUNG JATI	PEMALANG	0.01011	0.12384	0.0000096	181.2

Tabel 3.2. Data saluran sistem transmisi JAMALI 500 kV tahun 2025
(Lanjutan)

DARI BUS	KE BUS	R (Ohm)	X (Ohm)	Y (Siemen)	JARAK (km)
UNGARAN	TANJUNG JATI	0.012903	0.124794	0.0000095	134.8
PEMALANG	JATENG	0.01011	0.12384	0.0000096	20
UNGARAN	TUNTANG	0.012903	0.124794	0.0000095	22
BANDUNG SEL	UJUNG BERUNG	0.031013	0.281756	0.000004	32.89
PEMALANG	TANJUNG JATI- SS	0.01011	0.12384	0.0000096	132
UNGARAN	NGIMBANG	0.031013	0.281756	0.000004	200.338
UNGARAN	KRIAN	0.015422	0.125532	0.0000094	254.2
PEDAN	TUNTANG	0.012903	0.124794	0.0000095	56
NGIMBANG	KRIAN	0.031013	0.281756	0.000004	50.981
GRESIK	KRIAN	0.015422	0.125532	0.0000094	23.9
GRESIK	TANDES	0.012903	0.124794	0.0000095	10.5
GRATI	KRIAN	0.012903	0.124794	0.0000095	79.41
GRATI	SURABAYA SEL	0.015422	0.125532	0.0000094	54.5
CILACAP	ADIPALA	0.01011	0.12384	0.0000096	4.79
CAWANG	MUARA TAWAR	0.015422	0.125532	0.0000094	48
BALARAJA	LEKONG	0.015422	0.125532	0.0000094	32.56
CIKUPA	LONTAR	0.01011	0.12384	0.0000096	18.81
CIKUPA	KEMBANGAN	0.01011	0.12384	0.0000096	26.676
KENDAL	TANJUNG BOROK	0.01011	0.12384	0.0000096	39.43
TANJUNG JATI	REMBANG	0.01011	0.12384	0.0000096	98.77
REMBNG	TANJUNG AWAR2	0.01011	0.12384	0.0000096	85.71
TANJUNG AWAR2	GRESIK	0.01011	0.12384	0.0000096	167.11
UNGARAN	KENDAL	0.015422	0.125532	0.0000094	33.31
TASIK	MAGENG	0.015422	0.125532	0.0000094	49.2

Tabel 3.2. Data saluran sistem transmisi JAMALI 500 kV tahun 2025
(Lanjutan)

DARI BUS	KE BUS	R (Ohm)	X (Ohm)	Y (Siemen)	JARAK (km)
MAGENG	RAWALO	0.031013	0.281756	0.000004	83.148
PEMALANG	KENDAL	0.01011	0.12384	0.0000096	90.58
GANDUL	CAWANG BARU	0.01011	0.12384	0.0000096	20
CAWANG	CAWANG BARU	0.012903	0.124794	0.0000095	3
BOGORX	TANJUNG PUCUT	18.144	-	-	504
BOGORX	UBRUG	0.012903	0.124794	0.0000095	100.02
UBRUG	CIGRE	0.012903	0.124794	0.0000095	30.82

3.4 Kapasitas dan Pembangkitan Jamali pada Tahun 2025

Pada sistem transmisi Jamali tahun 2025 mempunyai data kapasitas dan pembangkitan bisa dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut:

Tabel 3.3 Data kapasitas pembangkit JAMALI tahun 2025

No	BUS PEMBANGKIT	KAPASITAS	PEAK (MW)	LIGHT (MW)
		(MW)		
1	SURALAYA BARU	2588	2070	470
2	SURALAYA	3612.5	2601.5	868.8
3	MUARA TAWAR	2889.2	2185	1300
4	TANJUNG JATI	4887.2	2756	1600
5	GRESIK	1680	1098	350
6	CIRATA	1008	324	170
7	GRATI	2310	1840	640
8	SAGULING	700.74	200	200
9	ADIPALA	637.5	400	0
10	CILACAP	1637.5	1200	800
11	PAITON	4792.8	2970	1130

Tabel 3.3 Data kapasitas pembangkit JAMALI tahun 2025 (Lanjutan)

No	BUS PEMBANGKIT	KAPASITAS	PEAK (MW)	LIGHT (MW)
		(MW)		
12	PRIOK	800	610	640
13	BOJANEGARA	3600	2240	800
14	TANARA	2000	1600	800
15	CIREBON	1000	750	750
16	INDRAMAYU	1000	750	750
17	TANJUNG JATI-SS	1320	950	475
18	CISOKAN	1040	720	360
19	CILAMAYA	3200	2560	1280
20	JATENG	1900	1520	760
21	BANTEN	1269.8	1016	510
22	RAWALO	660	528	0
23	MATENGGENG	900	544	270
24	TANJUNG PUCUT	2400	1538.5	937.8
25	LONTAR	315	252	240
26	TAMBAK LOROK	1600	418	640

3.5 Data Pembebanan GITET Jamali pada Tahun 2025

Untuk data pembebanan tiap GITET pada transmisi Jamali pada tahun 2025 mempunyai data pembebanan *peak* dan *light* yang dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3.4 Data pembebanan GITET transmisi JAMALI tahun 2025

No	GITET	PEAK (MW)	LIGHT (MW)
1	SURALAYA	29.3	14.65
2	SURALAYA BARU	60.9	30.45

Tabel 3.4 Data pembebanan GITET transmisi JAMALI tahun 2025
(Lanjutan)

No	GITET	PEAK (MW)	LIGHT (MW)
3	MUARA KARANG	709.3	354.65
4	CILEGON	307.1	153.55
5	BALARAJA	1133.4	566.7
6	CIKUPA	297.8	148.9
7	LEKONG	1071.4	535.7
8	DURIKOSAMBI	1505.3	752.65
9	PRIOK	651.4	325.7
10	KEMBANGAN	893.6	446.8
11	GANDUL	1415.6	707.8
12	DEPOK	517.3	258.65
13	BOGORX	264.4	132.2
14	BEKASI	1171.8	585.9
15	CAWANG	836.9	418.45
16	MUARA TAWAR	586.1	293.05
17	TAMBUN	382.6	191.3
18	CIBINONG	863.1	431.55
19	CIGRE	848.6	424.3
20	TASIK	590.7	295.35
21	CIBATU BARU	654.6	327.3
22	CIBATU	926.5	463.25
23	DELTAMAS	869.8	434.9
24	CIRATA	434.7	217.35
25	MANDIRACAN	933	466.5
26	UJUNG BERUNG	764.9	382.45
27	BANDUNG SELATAN	440.6	220.3

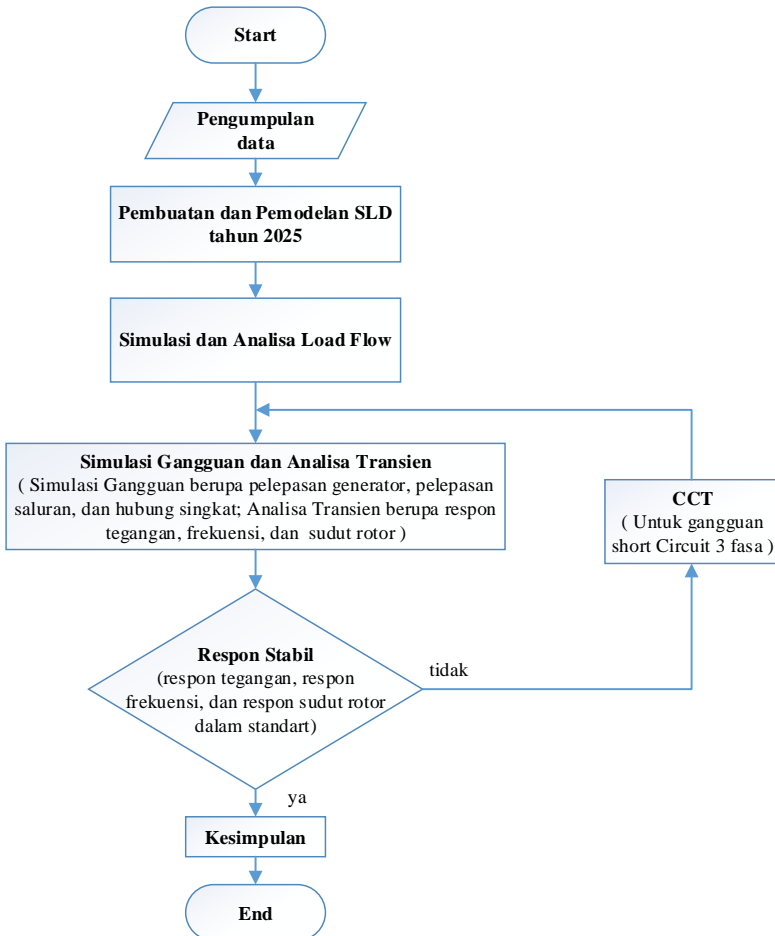
Tabel 3.4 Data pembebanan GITET transmisi JAMALI tahun 2025
(Lanjutan)

No	GITET	PEAK (MW)	LIGHT (MW)
28	KESUGIHAN	888.6	444.3
29	PEMALANG	398.6	199.3
30	UNGARAN	267.6	133.8
31	TANJUNG JATI	459.2	229.6
32	TUNTANG	935	467.5
33	PEDAN	958.7	479.35
34	NGIMBANG	520.5	260.25
35	TANDES	300.1	150.05
36	GRESIK	62.3	31.15
37	KRIAN	1232	616
38	SURABAYA SELATAN	720.2	360.1
39	GRATI	964.9	482.45
40	KEDIRI	1078.1	539.05
41	BANGIL	723.8	361.9
42	PAITON	973.9	486.95
43	ANTOSARI	1032.5	516.25
44	TANJUNG JATI-SS	950	475
45	KENDAL	502	251
46	REMBANG	216.9	108.45
47	TANJUNG AWAR2	303.6	151.8
48	CAWANG BARU	523.7	261.85
49	UBRUG	50	25

3.5 Metodologi Simulasi

Untuk mendapatkan hasil yang diharapkan simulasi dibutuhkan sebuah metodologi untuk mengetahui langkah-langkah untuk melakukan

simulasi sebelum memasuki tahap simulasi dan analisis. Berikut ini adalah metodologi simulasi yang digunakan untuk tugas akhir ini :



Gambar 3.2 Flow chart metodologi simulasi

Pada Gambar 3.2 adalah *flow chat* metodologi simulasi yang dipakai untuk tugas akhir ini, dapat diuraikan berikut ini:

1. Aliran Daya
Untuk mengetahui aliran daya pada sistem stabil atau tidak dilakukan analisis aliran daya dengan menggunakan *software* ETAP versi 12.6.0. Analisis aliran disimulasikan dengan menggunakan data-data beban, data saluran, dan data pembangkitan dari data sistem transmisi Jamali 500 kV tahun 2025.
2. Simulasi Kestabilan Transien
Pada tugas akhir ini terdapat tiga gangguan untuk menganalisis kestabilan transien sistem Jamali 500 kV pada tahun 2025 yaitu hubung singkat di saluran, pelepasan generator, dan pelepasan saluran.
3. Analisis kestabilan transien
Setelah dilakukan simulasi kestabilan transien, hasil yang diamati adalah respon sudut rotor, respon frekuensi dan respon tegangan dengan mengamati respon terhadap waktu menggunakan batasan-batasan sesuai dari standar yang ditetapkan.
4. Penarikan Kesimpulan
Dengan adanya penambahan pembangkit di sistem transmisi listrik Jamali 500 kV sebesar 5200 MW pada tahun 2025 dapat diberikan hasil kesimpulan untuk analisis kestabilan transien dan dapat memberikan solusi dalam memperbaiki masalah tersebut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Studi Kasus Kestabilan Transien pada Sistem Transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025

Sebelum melakukan analisis kestabilan transien, maka dibuat terlebih dulu *single line diagram* (SLD) dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali (Jamali) 500 kV dengan menggunakan *software* ETAP 12.6 dan kemudian dilakukan analisis aliran daya. Setelah itu, dilakukan analisis kestabilan transien dengan beberapa studi kasus diantaranya pelepasan pembangkit, pelepasan satu saluran dari saluran ganda, pelepasan dua saluran dari saluran ganda, *critical clearing time* (CCT) dan *single pole auto recloser*. Pada analisis kestabilan transien ini, ada beberapa parameter yang diamati baik sesaat dan setelah terjadi gangguan meliputi respon frekuensi, respon sudut rotor, dan respon tegangan. Dimana pada tugas akhir ini, gangguan disimulasikan terjadi pada detik kesatu dengan dua kondisi beban yaitu beban puncak dan beban dasar. Dan berikut adalah penjelasan mengenai studi kasus pada analisis kestabilan transien diantaranya:

- 1. Pelepasan Generator**

Pada kasus ini dilakukan pelepasan satu generator yang mempunyai kapasitas paling besar pada sistem ini, sedangkan generator yang lain tetap aktif dan diamati respon frekuensi, sudut rotor dan tegangan ketika terjadi pelepasan generator.

- 2. Pelepasan Satu Saluran dari Saluran Ganda Tanpa Gangguan**

Pada kasus ini dilakukan analisis aliran daya dan dilihat saluran ganda yang memiliki aliran daya yang terbesar. Kemudian dilakukan pelepasan satu saluran dari saluran ganda tanpa gangguan dan diamati respon frekuensi, sudut rotor dan tegangan ketika terjadi pelepasan satu saluran dari saluran ganda.

- 3. Pelepasan Dua Saluran dari Saluran Ganda Tanpa Gangguan**

Pada kasus ini dilakukan analisis aliran daya dan dilihat saluran ganda yang memiliki aliran daya yang terbesar. Kemudian dilakukan pelepasan saluran ganda tanpa gangguan dan diamati

respon frekuensi, sudut rotor dan tegangan ketika terjadi pelepasan saluran ganda.

4. Critical Clearing Time (CCT)

Pada kasus ini terdapat tiga percobaan dengan melakukan analisis hubung singkat untuk mengetahui tiga bus yang mempunyai arus hubung singkat 3 fasa terbesar. Kemudian dilakukan analisis kestabilan transien dan dicari waktu pemutusan kritisnya ketika terjadi gangguan 3 fasa setiap percobaan.

5. Single Pole Auto Reclosing Time

Pada kasus ini dilakukan analisis hubung singkat terlebih dahulu untuk mengetahui tiga bus dengan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah terbesar. Kemudian dilakukan analisis kestabilan transien dan dicari waktu pemutusan saluran dan waktu untuk penutupan kembali ketika terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

Pada studi kasus pelepasan satu saluran dari saluran ganda dan pelepasan dua saluran dari saluran ganda, perlu ditentukan lokasi gangguan dengan melakukan simulasi aliran daya untuk mengetahui aliran daya terbesar baik kondisi beban puncak maupun beban dasar. Sehingga didapat hasil simulasi aliran daya sebagai berikut:

Tabel 4.1 Aliran daya pada kondisi beban puncak

Saluran	Aliran Daya (MW)
Cikupa – Balaraja	3545.986
Cikupa – Kembangan	3494.918
Lekong – Balaraja	3208.397
Bojanegara – Balaraja	3188.063
Suralaya – Balaraja	3182.464

Tabel 4.2 Aliran daya pada kondisi beban dasar

Saluran	Aliran Daya (MW)
Cilamaya – Cibatu 2	1279.177
Cikupa – Kembangan	1233.677
Lekong – Balaraja	1167.829

Tabel 4.2 Aliran daya pada kondisi beban dasar (Lanjutan)

Saluran	Aliran Daya (MW)
Cikupa – Balaraja	1143.277
Kendal – Ungaran	1097.026

Sedangkan pada studi kasus *critical clearing time* (CCT), dan *single pole auto recloser*, perlu ditentukan lokasi gangguan dengan melakukan simulasi analisis hubung singkat untuk mengetahui hubung singkat 3 fasa dan hubung singkat 1 fasa ke tanah baik kondisi beban puncak maupun beban dasar. Sehingga didapat hasil simulasi analisis hubung singkat sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hubung singkat 3 fasa pada kondisi beban puncak

Bus	Isc 3 fasa (kA)
Muara Tawar	140.635
Gandul	136.912
Depok	126.806
Bekasi	120.581
Kembangan	118.374

Tabel 4.4 Hubung singkat 3 fasa pada kondisi beban dasar

BUS	Isc 3 fasa (kA)
Muara Tawar	95.456
Gandul	92.636
Depok	88.722
Bekasi	85.595
Cibinong	83.466

Tabel 4.5 Hubung singkat 1 fasa ke tanah pada kondisi beban puncak

Bus	Isc 1 fasa ketanah (kA)
Muara Tawar	92.547

Tabel 4.5 Hubung singkat 1 fasa ke tanah pada kondisi beban puncak
(Lanjutan)

Bus	Isc 1 fasa ketanah (kA)
Suralaya	85.532
Suralaya Baru	85.424
Banten	83.103
Bojanegara	63.704

Tabel 4.6 Hubung singkat 1 fasa ke tanah pada kondisi beban dasar

Bus	Isc 1 fasa ketanah (kA)
Muara Tawar	66.012
Priok	49.894
Gandul	46.796
Bekasi	46.634
Suralaya	46.308

Agar tugas akhir ini lebih mudah dipahami, maka kasus-kasus yang disimulasikan dalam analisis kestabilan transien akan dijelaskan pada Tabel 4.7 berikut ini:

Tabel 4.7 Studi Kasus Kestabilan Transien

Studi Kasus 1	Lokasi Kasus 1	Kapasitas (MW)	Pembangkitan (MW)
Pelepasan Generator (Beban Puncak)	Indramayu	1000	750
	Bojanegara 1	1000	800
	Suralaya Baru 3	1000	800
Pelepasan Generator (Beban Dasar)	Suralaya Baru 3	1000	800
	Cirebon	1000	750
	Cilacap 2	1000	800

Tabel 4.7 Studi Kasus Kestabilan Transien (Lanjutan)

Studi Kasus 2	Lokasi Kasus 2	Aliran Daya (MW)			
Satu Saluran Lepas (Beban Puncak)	Cikupa-Balaraja	3545.986			
	Kembangan-Cikupa	3494.918			
	Balaraja-Lekong	3208.397			
Satu Saluran Lepas (Beban Dasar)	Cilamaya-Cibatu 2	1279.177			
	Kembangan-Cikupa	1233.677			
	Balaraja-Lekong	1167.829			
Studi Kasus 3	Keterangan Kasus 3	Aliran Daya (MW)			
Saluran Ganda Lepas (Beban Puncak)	Cikupa-Balaraja	3545.986			
	Kembangan-Cikupa	3494.918			
	Balaraja-Lekong	3208.397			
Saluran Ganda Lepas (Beban Dasar)	Cilamaya-Cibatu 2	1279.177			
	Kembangan-Cikupa	1233.677			
	Balaraja-Lekong	1167.829			
Studi Kasus 4	Keterangan Kasus 4	CB Open (Sudut Rotor)		CB Open (Frekuensi)	
		Stabil	Tidak	Aman	Tidak
CCT (Beban Puncak)	Muara Tawar-Bekasi	0.365	0.366	0.264	0.265
	Gandul-Depok	0.357	0.358	0.266	0.267
	Kembangan-Durikosambi	0.393	0.394	0.288	0.288
CCT (Beban Dasar)	Muara Tawar-Bekasi	0.484	0.485	0.238	0.239
	Gandul-Depok	0.401	0.402	0.218	0.219
	Cibinong-Depok	0.608	0.609	0.265	0.266

Tabel 4.7 Studi Kasus Kestabilan Transien (Lanjutan)

Studi Kasus 5	Keterangan Kasus 5	CB Open	CB Recloser
<i>Auto Recloser</i> (Beban Puncak)	Muara Tawar-Priok	0.2	0.9
	Suralaya Baru-Suralaya	0.2	0.9
	Banten-Suralaya Baru	0.2	0.9
<i>Auto Recloser</i> (Beban Dasar)	Muara Tawar-Priok	0.2	0.9
	Gandul-Depok	0.2	0.9
	Bekasi-Muara Tawar	0.2	0.9

4.2 Kondisi Beban Puncak

4.2.1 Pelepasan Generator

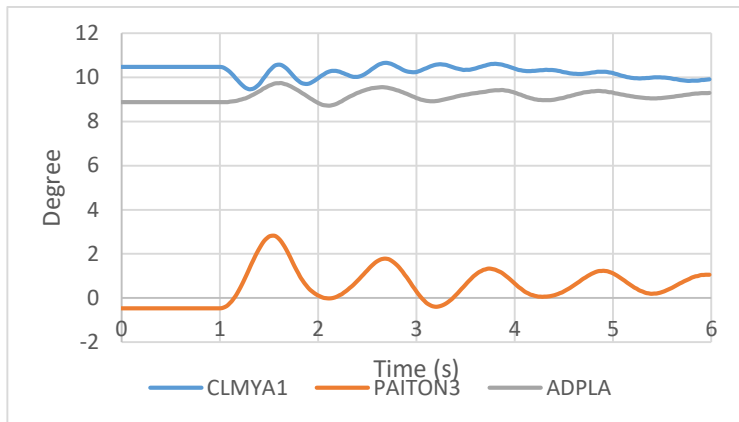
Pada kasus ini dilakukan tiga kali percobaan pelepasan generator pada kondisi beban puncak. Dimana setiap kali percobaan, generator dengan kapasitas terbesar yang akan dilepaskan dari sistem yaitu Indramayu, Bojanegara 1 dan Suralaya Baru 3. Dan untuk analisis dari hasil simulasi pada studi kasus pelepasan generator adalah sebagai berikut:

4.2.1.1 PLTU Indramayu Lepas dari Sistem pada $t=1s$

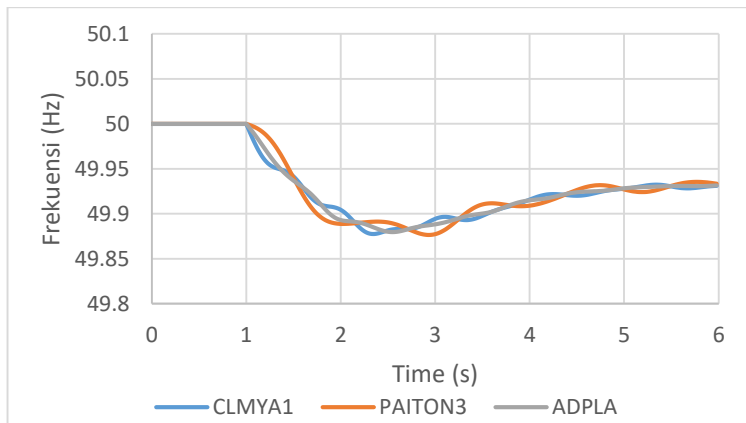
Pada kasus pertama ini, generator Indramayu yang memiliki kapasitas sebesar 1000 MW dengan daya yang terbangkit sebesar 750 MW terlepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025. Dimana saat kondisi beban puncak, sistem ini memiliki generator dengan daya yang dibangkitkan 33641 MW dan daya yang dibutuhkan beban 33223.9 MW. Dan sistem kehilangan 750 MW atau 2.23% dari seluruhnya daya yang dibangkitkan sistem karena lepasnya generator Indramayu dari sistem, akan tetapi pembangkit sistem yang bekerja masih mampu untuk memenuhi kebutuhan beban. Sedangkan hasil simulasi pelepasan pembangkit adalah sebagai berikut:

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.1 diatas. Dimana pada generator Cilamaya 1 nilai sudut

rotornya turun dari 10.47° ke 9.91° , sedangkan pada generator Paiton 3 nilai sudut rotornya naik dari -0.47° ke 1.05° dan pada generator Adipala nilai sudut rotornya juga naik dari 8.87° ke 9.29° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

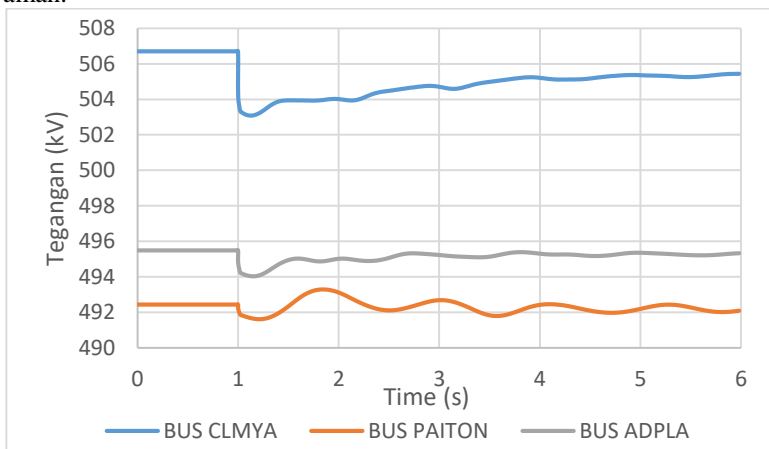


Gambar 4.1 Respon sudut rotor saat lepasnya generator Indramayu



Gambar 4.2 Respon frekuensi saat lepasnya generator Indramayu

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.2. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena sistem kehilangan daya sebesar 750 MW, akan tetapi setelah itu respon frekuensi berangsur mengalami kenaikan sampai pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.931 Hz untuk generator Cilamaya 1, 49.933 Hz untuk generator Paiton 3 dan 49.932 Hz untuk generator Adipala. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



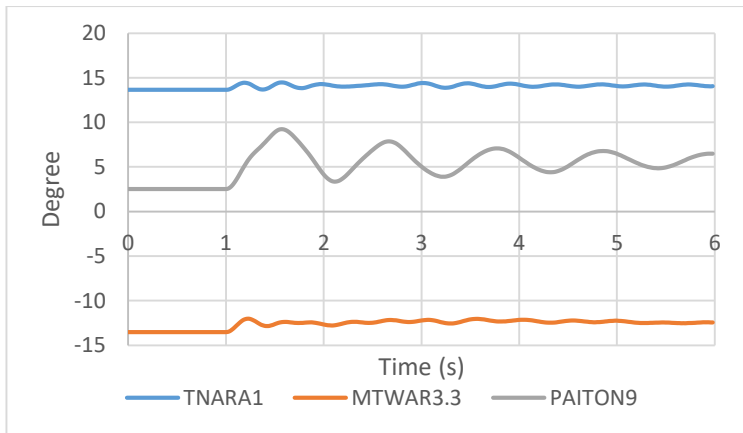
Gambar 4.3 Respon tegangan saat lepasnya generator Indramayu

Begitupun respon tegangan juga mengalami penurunan dari nilai sebelum gangguan karena hilangnya daya sebesar 750 MW dari sistem. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Cilamaya turun sampai 505.44 kV, dan pada bus Paiton turun sampai 492.096 kV serta pada bus Adipala turun sampai 495.326 kV. Namun berdasarkan standar PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

4.2.1.2 PLTU Bojanegara Lepas dari Sistem pada $t=1s$

Pada kasus kedua ini, generator Bojanegara yang memiliki kapasitas sebesar 1000 MW dengan daya yang terbangkit sebesar 800

MW terlepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025. Dimana saat kondisi beban puncak, sistem ini memiliki generator dengan daya yang dibangkitkan 33641 MW dan daya yang dibutuhkan beban 33223.9 MW. Dan sistem kehilangan 800 MW atau 2.378% dari seluruhnya daya yang dibangkitkan sistem karena lepasnya generator Bojanegara dari sistem, akan tetapi pembangkit sistem yang bekerja masih mampu untuk memenuhi kebutuhan beban. Sedangkan hasil simulasi pelepasan pembangkit adalah sebagai berikut:

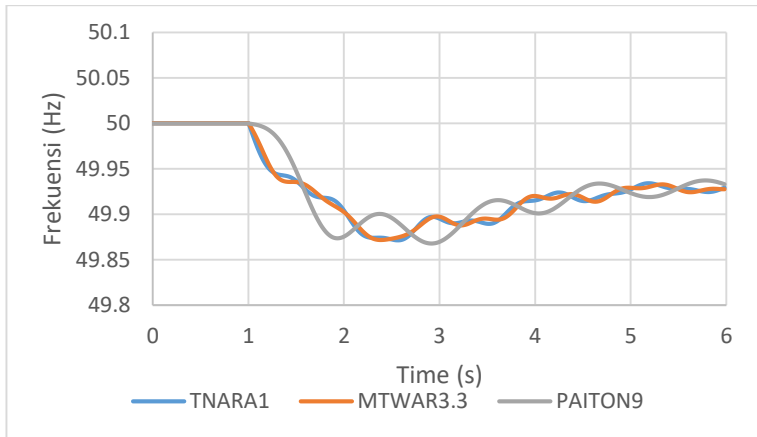


Gambar 4.4 Respon sudut rotor saat lepasnya generator Bojanegara

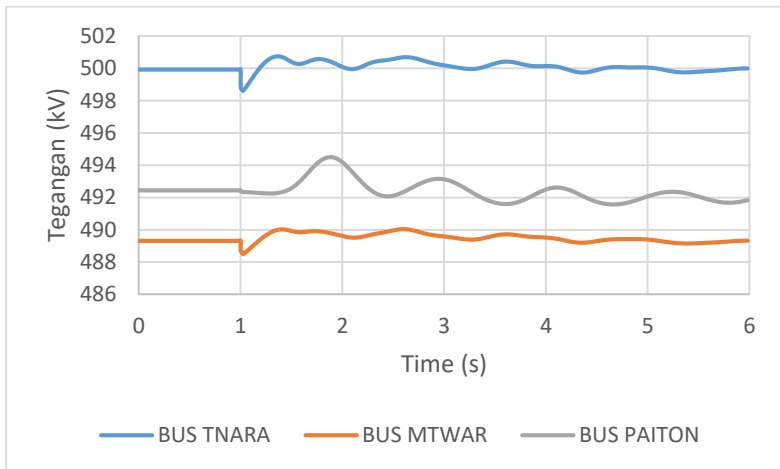
Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.4 diatas. Dimana pada generator Tanjung Ara 1 nilai sudut rotornya naik dari 13.65° ke 14.05° dan pada generator Muara Tawar 3.3 nilai sudut rotornya naik dari -13.53° ke -12.45° serta pada generator Paiton 9 nilai sudut rotornya juga naik dari 2.54° ke 6.5° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.5. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena sistem kehilangan daya sebesar 800 MW, akan tetapi setelah itu respon frekuensi berangsur mengalami kenaikan sampai pada detik ke 6

nilai frekuensinya yaitu 49.929 Hz untuk generator Tanjung Ara 1, 49.927 Hz untuk generator Muara Tawar 3.3 dan 49.93 Hz untuk generator Paiton 9. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



Gambar 4.5 Respon frekuensi saat lepasnya generator Bojanegara

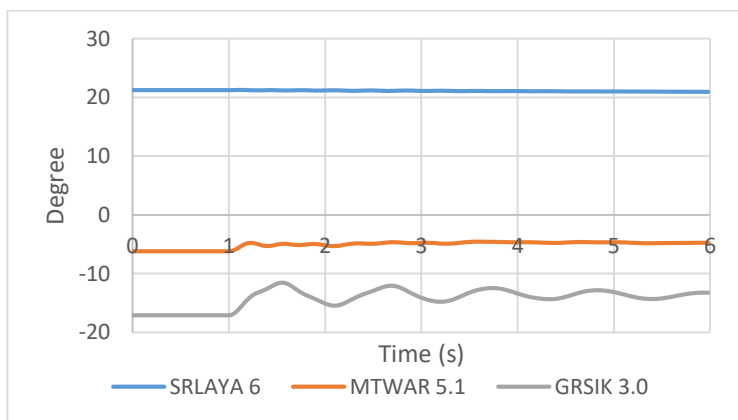


Gambar 4.6 Respon tegangan saat lepasnya generator Bojanegara

Begitupun respon tegangan juga mengalami penurunan dari nilai sebelum gangguan karena hilangnya daya sebesar 800 MW dari system sebagaimana terlihat pada Gambar 4.6. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Tanjung Ara turun menjadi 499.9 kV, dan pada bus Muara Tawar turun menjadi 489.32 kV serta pada bus Paiton turun menjadi 491.83 kV. Namun berdasarkan standar PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

4.2.1.3 PLTU Suralaya Baru 3 Lepas dari Sistem pada $t=1s$

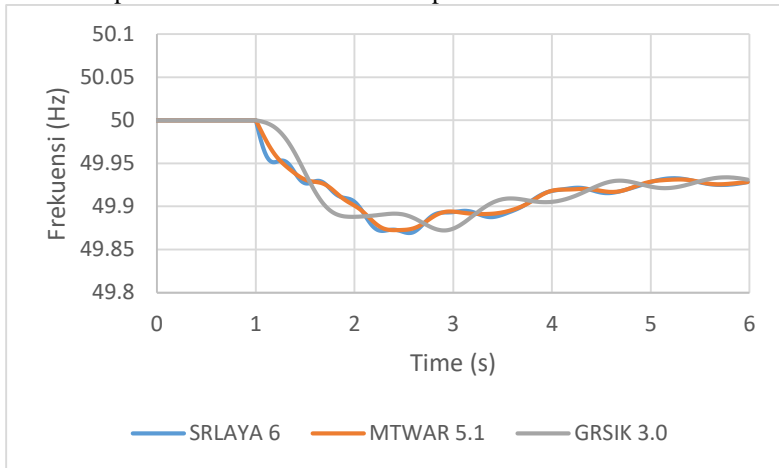
Pada kasus ketiga ini, generator Suralaya Baru 3 yang memiliki kapasitas sebesar 1000 MW dengan daya yang terbangkit sebesar 800 MW terlepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025. Dimana saat kondisi beban puncak, sistem ini memiliki generator dengan daya yang dibangkitkan 33641 MW dan daya yang dibutuhkan beban 33223.9 MW. Dan sistem kehilangan 800 MW atau 2.378% dari seluruhnya daya yang dibangkitkan sistem karena lepasnya generator Suralaya Baru 3 dari sistem, akan tetapi pembangkit sistem yang bekerja masih mampu untuk memenuhi kebutuhan beban. Sedangkan hasil simulasi pelepasan pembangkit adalah sebagai berikut:



Gambar 4.7 Respon sudut rotor saat generator Suralaya Baru 3 lepas

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada

Gambar 4.7 diatas. Dimana pada generator Suralaya 6 nilai sudut rotornya turun dari 21.22° ke 20.94° , sedangkan pada generator Muara Tawar 5.1 nilai sudut rotornya naik dari -6.22° ke -4.76° dan pada generator Gresik 3.0 nilai sudut rotornya juga naik dari -17.13° ke -13.26° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

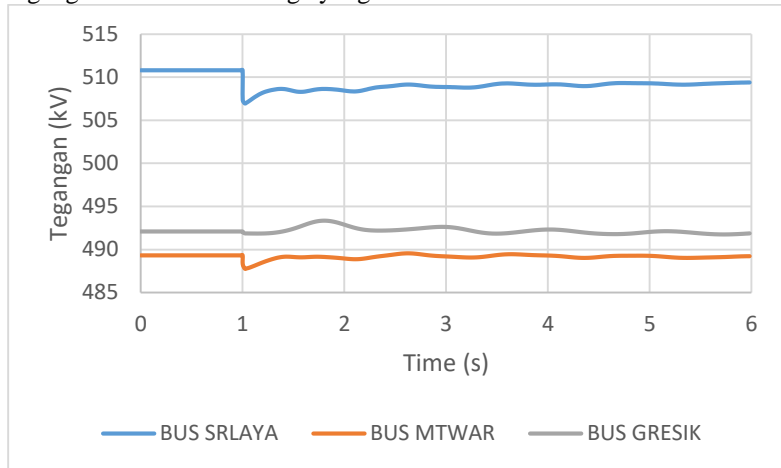


Gambar 4.8 Respon frekuensi saat lepasnya generator Suralaya Baru 3

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.8. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena sistem kehilangan daya sebesar 800 MW, akan tetapi setelah itu respon frekuensi berangsur mengalami kenaikan sampai pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.93 Hz untuk generator Suralaya 6, 49.93 Hz untuk generator Muara Tawar 5.1 dan 49.931 Hz untuk generator Gresik 3.0. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.

Begitupun respon tegangan juga mengalami penurunan dari nilai sebelum gangguan karena hilangnya daya sebesar 800 MW dari sistem sebagaimana terlihat pada Gambar 4.9. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Suralaya turun menjadi 509.38 kV, dan pada bus

Muara Tawar turun menjadi 489.21 kV serta pada bus Gresik turun menjadi 491.86 kV. Namun berdasarkan standar PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.



Gambar 4.9 Respon tegangan saat lepasnya generator Suralaya Baru 3

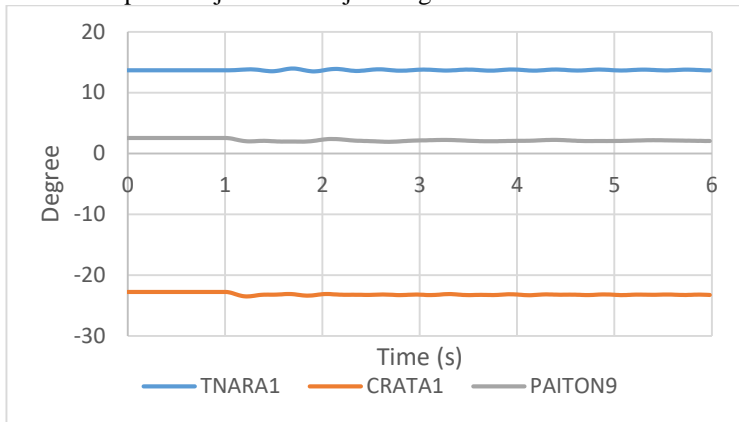
4.2.2 Pelepasan Satu Saluran dari Saluran Ganda Tanpa Gangguan

Pada kasus ini dilakukan tiga kali percobaan pelepasan satu saluran dari saluran ganda tanpa gangguan pada kondisi beban puncak. Dimana setiap kali percobaan, satu saluran dari saluran ganda dengan aliran daya terbesar yang akan dilepaskan dari sistem yaitu saluran Cikupa menuju ke Balaraja, saluran Kembangan ke Cikupa dan saluran Lekong menuju ke Balaraja. Dan analisis dari hasil simulasi untuk studi kasus pelepasan satu saluran dari saluran ganda tanpa gangguan adalah sebagai berikut:

4.2.2.1 Satu Saluran dari Saluran Cikupa-Balaraja Lepas dari Sistem pada $t=1s$

Pada kasus pertama ini, satu saluran dari saluran Cikupa menuju ke Balaraja yang memiliki aliran daya sebesar 3545.986 MW akan lepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025 tanpa

gangguan. Sehingga didapat hasil simulasi pelepasan satu saluran dari saluran Cikupa menuju ke Balaraja sebagai berikut:

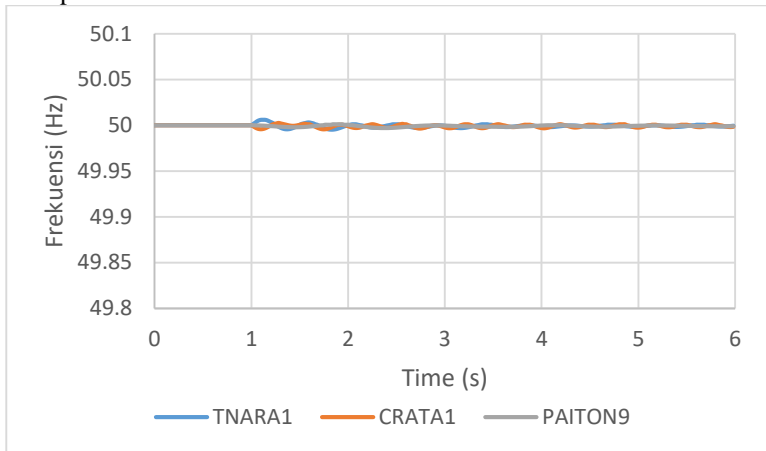


Gambar 4.10 Respon sudut rotor saat lepasnya satu saluran dari saluran Cikupa menuju ke Balaraja

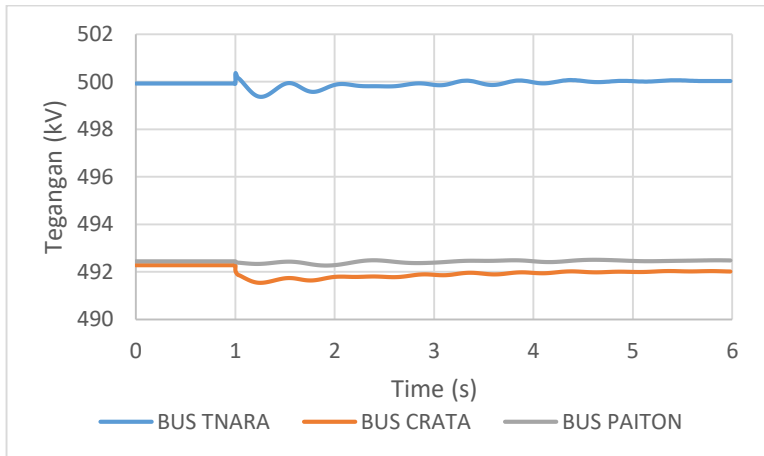
Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.10 diatas. Dimana pada generator Tanjung Ara 1 nilai sudut rotornya turun dari 13.65° ke 13.36° dan pada generator Cirata 1 nilai sudut rotornya turun dari -22.74° ke -23.24° serta pada generator Paiton 9 nilai sudut rotornya juga turun dari 2.54° ke 2.03° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami sedikit osilasi, namun pada detik ke 6, respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.11. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena terlepasnya satu saluran dari saluran Cikupa menuju ke Balaraja yang memiliki aliran daya sebesar 3545.986 MW, akan tetapi setelah itu frekuensi sedikit mengalami osilasi, namun frekuensi mampu mencapai *steady state*. Dan pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.9994 Hz untuk generator Tanjung Ara 1, 49.9982 Hz untuk generator Cirata 1 dan 49.9989 Hz untuk generator Paiton 9. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk

continuous operating yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



Gambar 4.11 Respon frekuensi saat lepasnya satu saluran dari saluran Cikupa menuju ke Balaraja

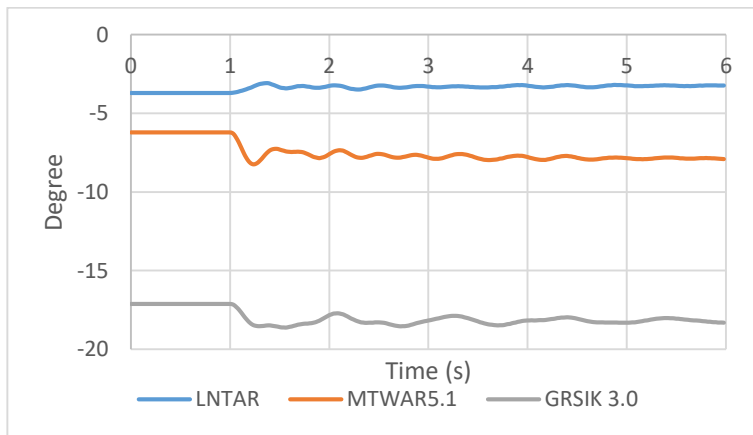


Gambar 4.12 Respon tegangan saat lepasnya satu saluran dari saluran Cikupa menuju ke Balaraja

Begitupun respon tegangan juga mengalami perubahan karena terlepasnya satu saluran dari saluran Cikupa menuju ke Balaraja yang memiliki aliran daya sebesar 3545.986 MW. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Tanjung Ara turun sampai 500.025 kV, dan pada bus Cirata turun sampai 492.019 kV serta pada bus Paiton turun sampai 492.477 kV. Namun berdasarkan standar dari PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

4.2.2.2 Satu Saluran dari Saluran Kembangan-Cikupa Lepas dari Sistem pada $t=1s$

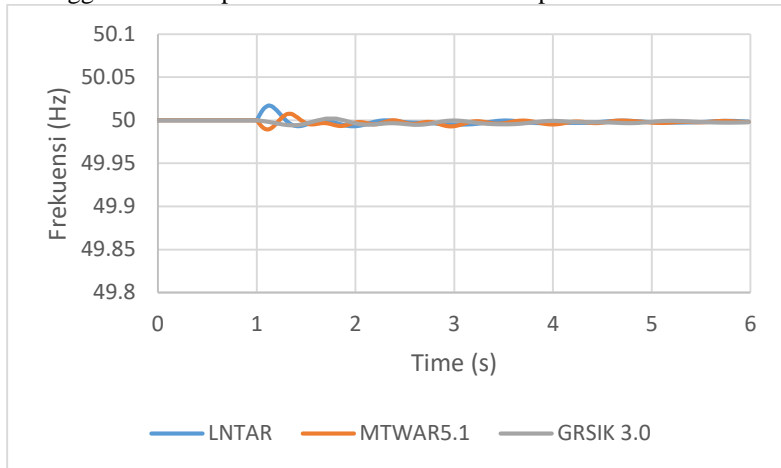
Pada kasus kedua ini, satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa yang memiliki aliran daya sebesar 3494.918 MW akan lepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025 tanpa gangguan. Sehingga didapat hasil simulasi pelepasan satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa sebagai berikut:



Gambar 4.13 Respon sudut rotor saat lepasnya satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.13 diatas. Dimana pada generator Lontar nilai sudut rotornya naik dari -3.7° ke -3.23° , sedangkan pada generator Muara Tawar 5.1 nilai sudut rotornya turun dari -6.22° ke -7.91° dan pada generator

Gresik 3.0 nilai sudut rotornya juga turun dari -17.13° ke -18.31° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami sedikit osilasi, namun pada detik ke 6, respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

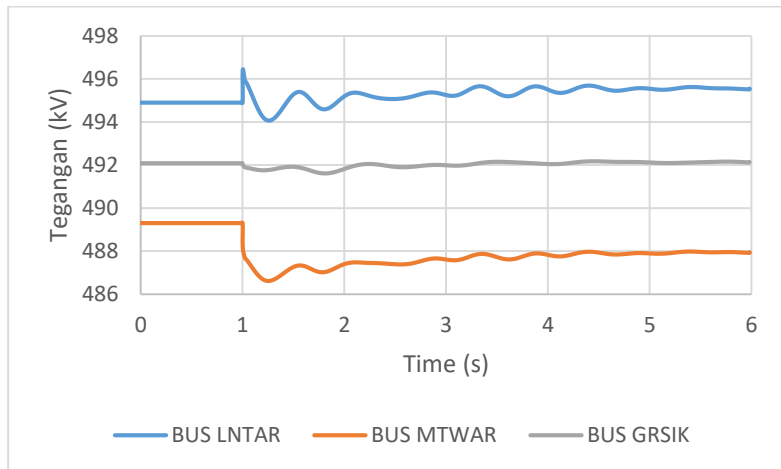


Gambar 4.14 Respon frekuensi saat lepasnya satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.14. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena terlepasnya satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa yang memiliki aliran daya sebesar 3494.918 MW, akan tetapi setelah itu frekuensi sedikit mengalami osilasi, namun frekuensi mampu mencapai *steady state*. Dan pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.998 Hz untuk generator Lontar, 49.998 Hz untuk generator Muara Tawar 5.1 dan 49.998 Hz untuk generator Gresik 3.0. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.

Begitupun respon tegangan juga mengalami perubahan karena terlepasnya satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa yang memiliki aliran daya sebesar 3494.918 MW seperti yang terlihat pada Gambar 4.15. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Lontar turun sampai 495.55 kV, dan pada bus Muara Tawar turun sampai

487.95 kV serta pada bus Gresik turun sampai 492.148 kV dari nilai awalnya sebelum gangguan. Namun berdasarkan standar dari PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.



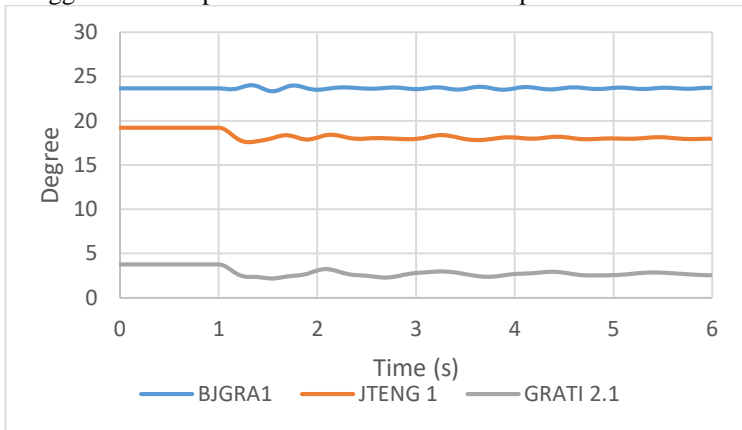
Gambar 4.15 Respon tegangan saat lepasnya satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa

4.2.2.3 Satu Saluran dari Saluran Balaraja-Lekong Lepas dari Sistem pada $t=1s$

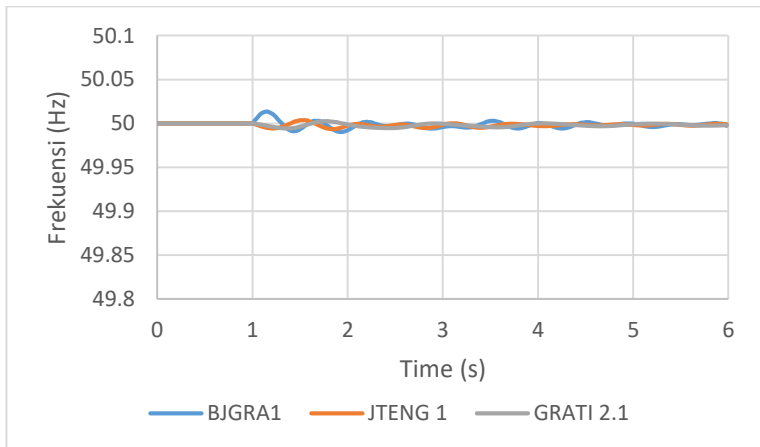
Pada kasus ketiga ini, satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong yang memiliki aliran daya sebesar 3208.397 MW akan lepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025 tanpa gangguan. Sehingga didapat hasil simulasi pelepasan satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong sebagai berikut:

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.16 dibawah. Dimana pada generator Bojanegara 1 nilai sudut rotornya naik dari 23.67° ke 23.73° , sedangkan pada generator Jawa Tengah 1 nilai sudut rotornya turun dari 19.2° ke 17.97° dan pada generator Grati 2.1 nilai sudut rotornya juga turun dari 3.76° ke 2.55° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami sedikit osilasi, namun

pada detik ke 6, respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

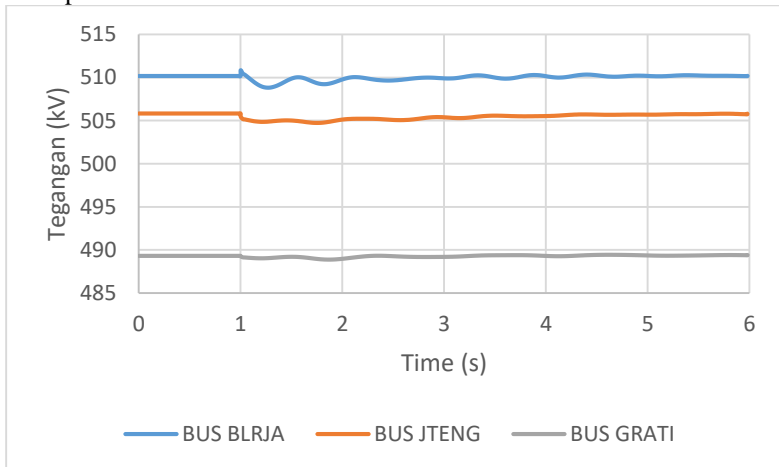


Gambar 4.16 Respon sudut rotor saat lepasnya satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong



Gambar 4.17 Respon frekuensi saat lepasnya satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.17. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena terlepasnya satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong yang memiliki aliran daya sebesar 3208.397 MW, akan tetapi setelah itu frekuensi sedikit mengalami osilasi, namun frekuensi mampu mencapai *steady state*. Dan pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.998 Hz untuk generator Bojanegara 1, 49.998 Hz untuk generator Jawa Tengah 1 dan 49.997 Hz untuk generator Grati 2.1. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



Gambar 4.18 Respon tegangan saat lepasnya satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong

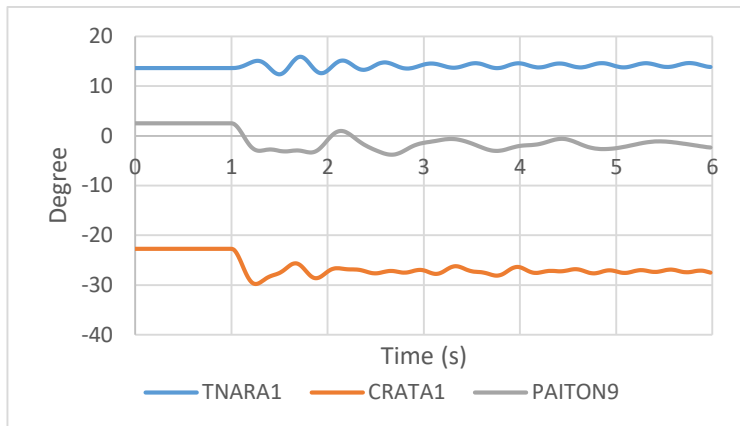
Begitupun respon tegangan juga mengalami perubahan karena terlepasnya satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong yang memiliki aliran daya sebesar 3208.397 MW. Namun respon tegangan mampu mencapai kondisi *steady state*, Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Balaraja sebesar 510.2 kV, dan pada bus Jawa Tengah sebesar 505.8 kV serta pada bus Grati sebesar 489.4 kV. Namun berdasarkan standar dari PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

4.2.3 Pelepasan Saluran Ganda Tanpa Gangguan

Pada kasus ini dilakukan tiga kali percobaan saluran ganda tanpa gangguan pada kondisi beban puncak. Dimana setiap kali percobaan, saluran ganda dengan aliran daya terbesar yang akan dilepaskan dari sistem yaitu saluran Cikupa menuju ke Balaraja, saluran Kembangan ke Cikupa dan saluran Lekong menuju ke Balaraja. Dan analisis dari hasil simulasi untuk studi kasus pelepasan saluran ganda tanpa gangguan adalah sebagai berikut:

4.2.3.1 Saluran Cikupa-Balaraja Lepas dari Sistem pada $t=1s$

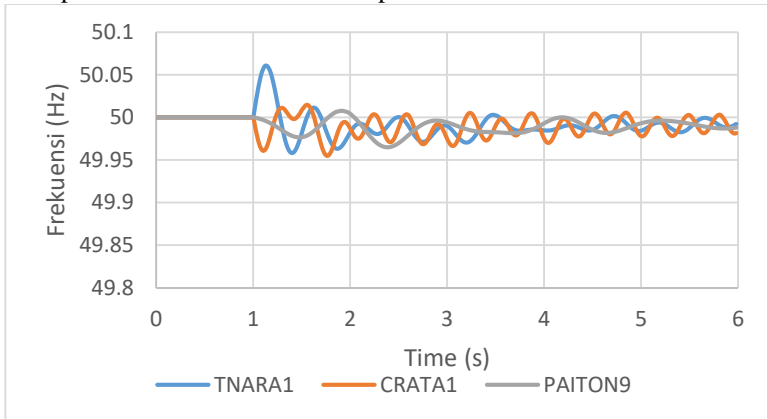
Pada kasus pertama ini, saluran Cikupa menuju ke Balaraja yang memiliki aliran daya sebesar 3545.986 MW akan lepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025 tanpa gangguan. Sehingga didapat hasil simulasi pelepasan satu saluran dari saluran Cikupa menuju ke Balaraja sebagai berikut:



Gambar 4.19 Respon sudut rotor saat lepasnya saluran Cikupa menuju ke Balaraja

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.19 diatas. Dimana pada generator Tanjung Ara 1 nilai sudut rotornya naik dari 13.65° ke 13.87° , sedangkan pada generator Cirata 1 nilai sudut rotornya turun dari -22.74° ke -27.52° dan pada generator Paiton 9 nilai sudut rotornya juga turun dari 2.54° ke -2.33° . meskipun

sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun pada detik ke 6, respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

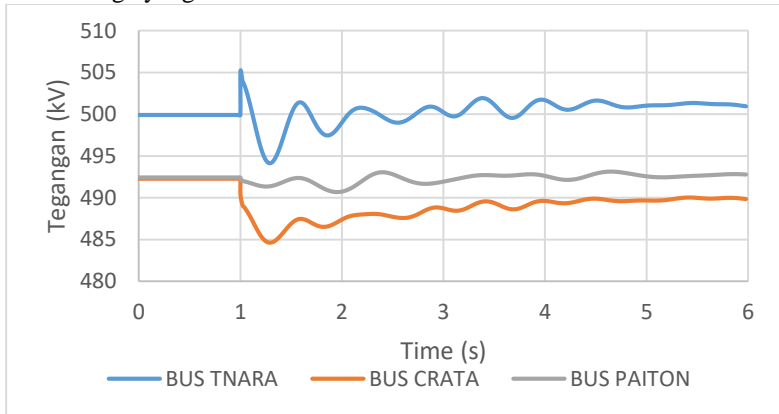


Gambar 4.20 Respon frekuensi saat lepasnya saluran Cikupa menuju ke Balaraja

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.20. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena terlepasnya saluran Cikupa menuju ke Balaraja yang memiliki aliran daya sebesar 3545.986 MW, akan tetapi setelah itu frekuensi mengalami osilasi, namun frekuensi cenderung menuju titik *steady state*. Dan pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.99 Hz untuk generator Tanjung Ara 1, 49.981 Hz untuk generator Cirata 1 dan 49.988 Hz untuk generator Paiton 9. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.

Begitupun respon tegangan seperti yang terlihat pada Gambar 4.21 juga mengalami perubahan karena terlepasnya saluran Cikupa menuju ke Balaraja yang memiliki aliran daya sebesar 3545.986 MW. Meskipun tegangannya mengalami isolasi, namun tegangan cenderung menuju titik *steady state*. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Tanjung Ara turun sampai 500.955 kV, dan pada bus Cirata turun sampai 489.85 kV serta pada bus Paiton turun sampai 492.79 kV.

Namun berdasarkan standar dari PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

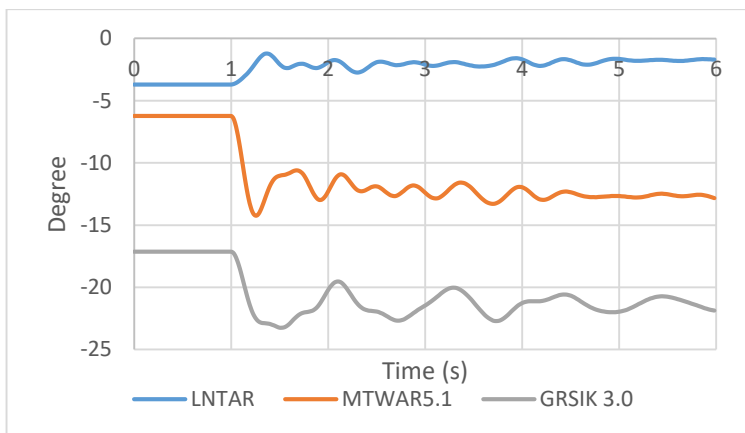


Gambar 4.21 Respon tegangan saat lepasnya saluran Cikupa menuju ke Balaraja

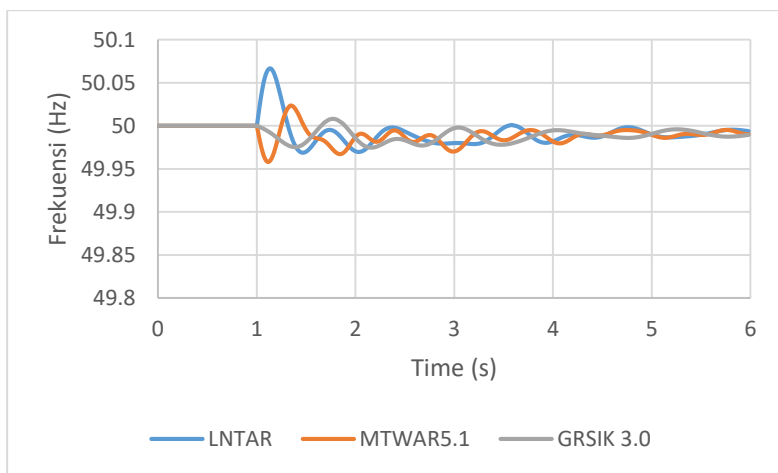
4.2.3.2 Saluran Kembangan-Cikupa Lepas dari Sistem pada $t=1s$

Pada kasus kedua ini, saluran Kembangan menuju ke Cikupa yang memiliki aliran daya sebesar 3494.918 MW akan lepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025 tanpa gangguan. Sehingga didapat hasil simulasi pelepasan satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa sebagai berikut:

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.22 diatas. Dimana pada generator Lontar nilai sudut rotornya naik dari -3.7° ke -1.7° , sedangkan pada generator Muara Tawar 5.1 nilai sudut rotornya turun dari -6.22° ke -12.83° dan pada generator Gresik 3.0 nilai sudut rotornya juga turun dari -17.13° ke -21.87° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun pada detik ke 6, respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.



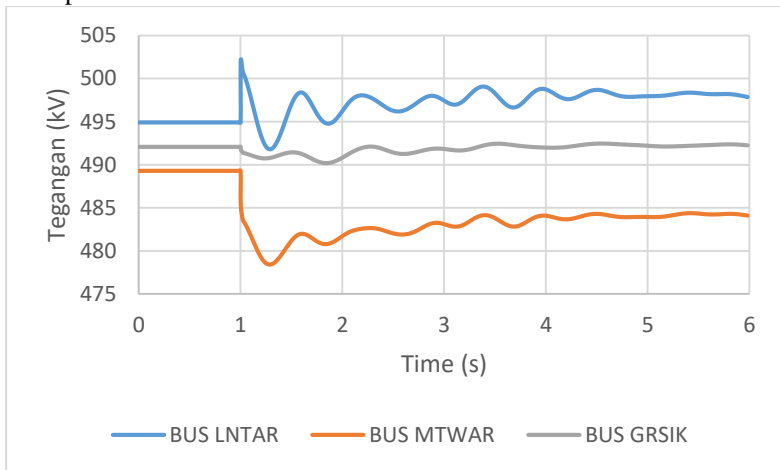
Gambar 4.22 Respon sudut rotor saat lepasnya saluran Kembangan menuju ke Cikupa



Gambar 4.23 Respon frekuensi saat lepasnya saluran Kembangan menuju ke Cikupa

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.23. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan

karena terlepasnya saluran Kembangan menuju ke Cikupa yang memiliki aliran daya sebesar 3494.918 MW, akan tetapi setelah itu frekuensi mengalami osilasi, namun frekuensi cenderung menuju titik *steady state*. Dan pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.994 Hz untuk generator Lontar, 49.99 Hz untuk generator Muara Tawar 5.1 dan 49.989 Hz untuk generator Gresik 3.0. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.

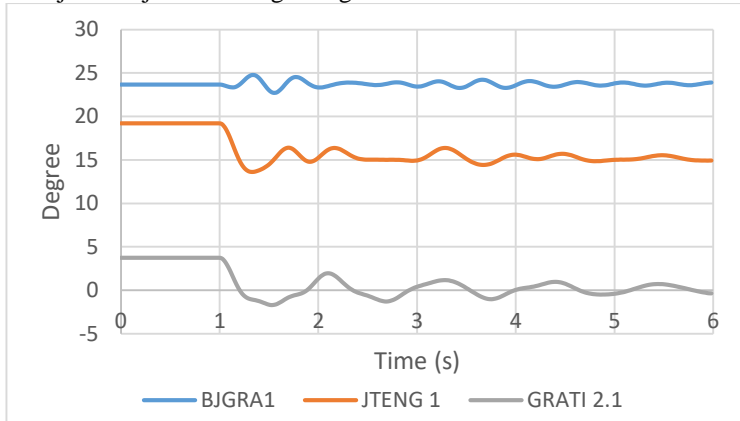


Gambar 4.24 Respon tegangan saat lepasnya saluran Kembangan menuju ke Cikupa

Begitupun respon tegangan seperti yang terlihat pada Gambar 4.24 juga mengalami perubahan karena terlepasnya saluran Kembangan menuju ke Cikupa yang memiliki aliran daya sebesar 3494.918 MW. Meskipun tegangannya mengalami isolasi, namun tegangan cenderung menuju titik *steady state*. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Lontar naik menjadi 497.857 kV, dan pada bus Muara Tawar turun menjadi 484.12 kV serta pada bus Gresik naik menjadi 492.26 kV dari nilai awalnya sebelum gangguan. Namun berdasarkan standar dari PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

4.2.3.3 Saluran Balaraja-Lekong Lepas dari Sistem pada $t=1s$

Pada kasus ketiga ini, saluran Balaraja menuju ke Lekong yang memiliki aliran daya sebesar 3208.397 MW akan lepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025 tanpa gangguan. Sehingga didapat hasil simulasi pelepasan satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong sebagai berikut:

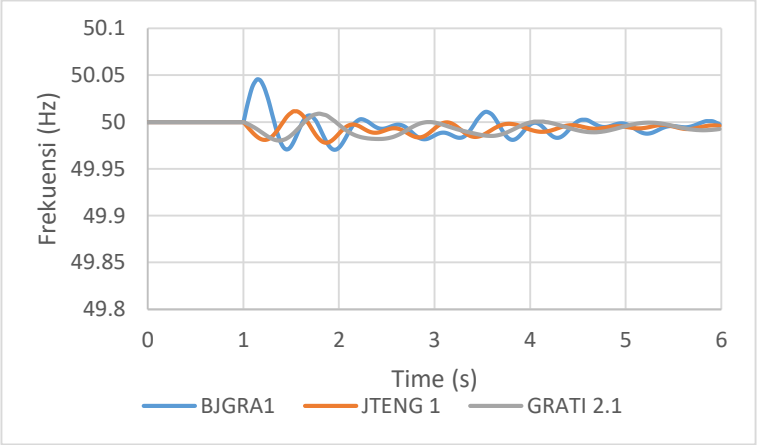


Gambar 4.25 Respon sudut rotor saat lepasnya saluran Balaraja menuju ke Lekong

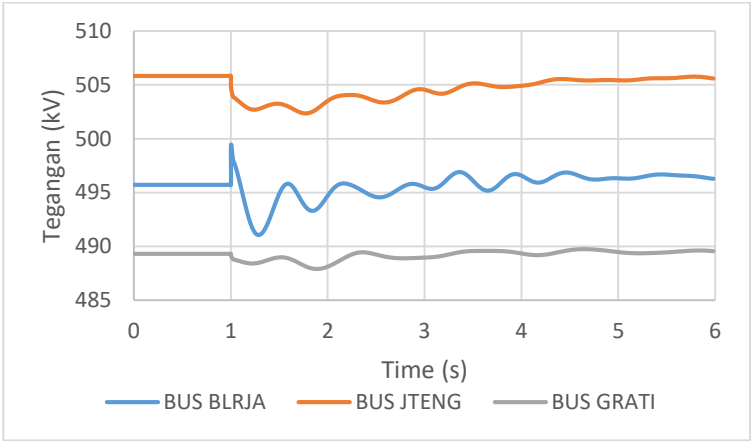
Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.25 diatas. Dimana pada generator Bojanegara 1 nilai sudut rotornya naik dari 23.67° ke 23.9° , sedangkan pada generator Jawa Tengah 1 nilai sudut rotornya turun dari 19.2° ke 14.94° dan pada generator Grati 2.1 nilai sudut rotornya juga turun dari 3.76° ke -0.35° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun pada detik ke 6, respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.26. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena terlepasnya saluran Balaraja menuju ke Lekong yang memiliki aliran daya sebesar 3208.397 MW, akan tetapi setelah itu frekuensi mengalami osilasi, namun frekuensi cenderung menuju titik *steady state*. Dan pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.998 Hz untuk generator

Bojanegara 1, 49.993 Hz untuk generator Jawa Tengah 1 dan 49.996 Hz untuk generator Grati 2.1. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



Gambar 4.26 Respon frekuensi saat lepasnya saluran Balaraja menuju ke Lekong



Gambar 4.27 Respon tegangan saat lepasnya saluran Balaraja menuju ke Lekong

Begitupun respon tegangan seperti yang terlihat pada Gambar 4.27 juga mengalami perubahan karena terlepasnya saluran Balaraja menuju ke Lekong yang memiliki aliran daya sebesar 3208.397 MW. Meskipun tegangannya mengalami isolasi, namun tegangan cenderung menuju titik *steady state*. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Balaraja naik menjadi 496.28 kV, dan pada bus Jawa Tengah turun menjadi 505.58 kV serta pada bus Grati naik menjadi 489.55 kV dari nilai awalnya sebelum gangguan. Namun berdasarkan standar dari PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

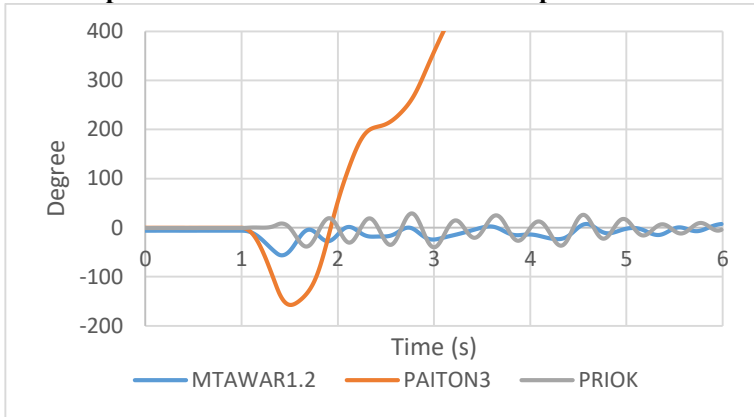
4.2.4 Critical Clearing Time (CCT)

Pada studi kasus ini dilakukan analisis kestabilan transien untuk menentukan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT), namun sebelumnya dilakukan simulasi analisis hubung singkat untuk mengetahui 3 bus yang memiliki arus hubung singkat 3 fasa paling besar pada kondisi beban puncak. Sehingga berdasarkan Tabel 4.3 yang merupakan hasil simulasi analisis hubung singkat 3 fasa, didapatkan 3 bus dengan arus hubung singkat terbesar yaitu bus Muara Tawar, bus Gandul dan bus Kembangan. Dan untuk analisis dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus menentukan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) adalah sebagai berikut:

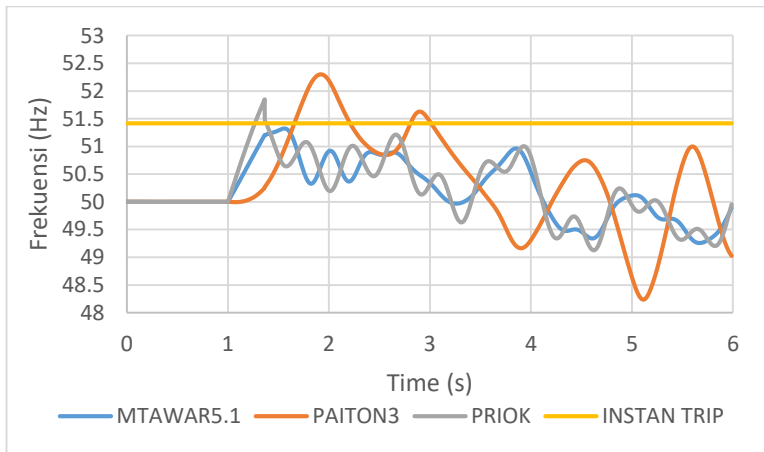
4.2.4.1 Hubung Singkat 3 Fasa Saluran Muara Tawar-Bekasi (dekat Bus Muara Tawar)

Pada kasus pertama ini, hubung singkat 3 fasa terjadi pada saluran Muara Tawar-Bekasi (dekat bus Muara Tawar). Dimana dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus ini, didapatkan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) yaitu 0.365 untuk kondisi stabil pada respon sudut rotor dan 0.366 untuk kondisi tidak stabil pada respon sudut rotor. Namun pada waktu pemutusan kritis baik 0.365 s maupun 0.366 s, respon frekuensi masih dalam range tidak aman. Sehingga waktu pemutusan krisis untuk range aman pada respon frekuensi adalah 0.264 s. Sedangkan hasil simulasi studi kasus menentukan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) adalah sebagai berikut:

a. Waktu pemutusan kritis untuk kondisi stabil pada sudut rotor



Gambar 4.28 Sudut rotor tidak stabil kritis, CB *Open* 0.366 detik

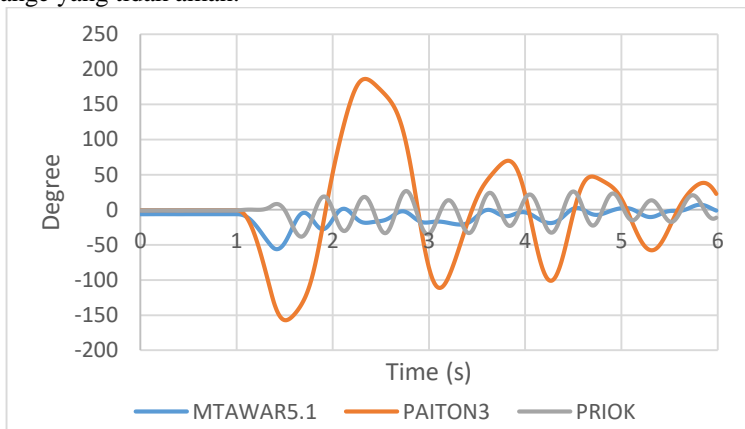


Gambar 4.29 Frekuensi range tidak aman, CB *Open* 0.366 detik

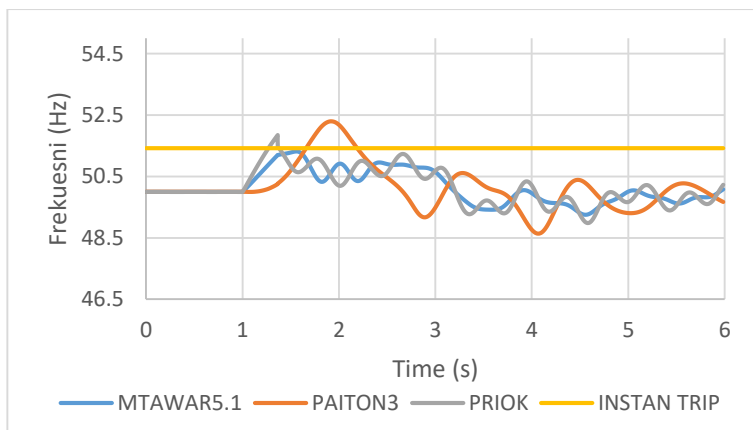
Terlihat pada Gambar 4.28 ketika terjadi gangguan dan CB terbuka pada saat 0.366 detik, respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi. Akan tetapi respon sudut rotor pada generator Paiton 3 mengalami kenaikan sampai melebihi batas kestabilan sebesar 180° dan generator tidak mampu meredam yang menyebabkan generator akan mengalami slipping pole terus menerus dan generator akan lepas sinkron

dengan sistem. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor tidak stabil.

Dan respon frekuensi pada semua generator juga mengalami osilasi, hingga frekuensi pada generator PAITON 3 mencapai 52.3 Hz sebagaimana terlihat pada Gambar 4.29 yang melebihi batas frekuensi berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 sebesar 51.417 Hz. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon frekuensi dalam range yang tidak aman.



Gambar 4.30 Sudut rotor stabil, CB *Open* 0.365 detik

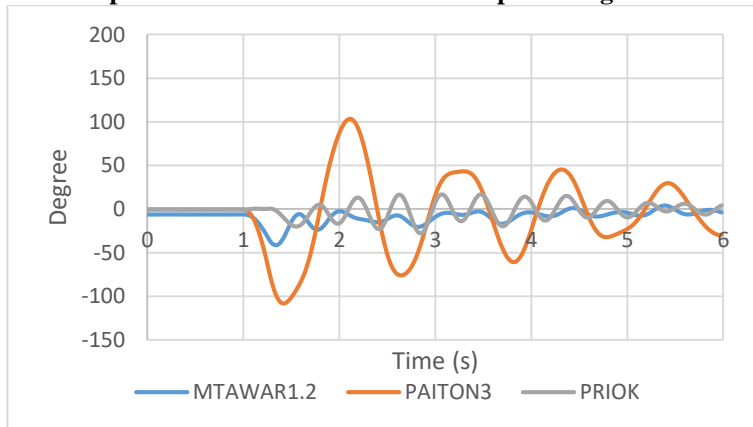


Gambar 4.31 Frekuensi range tidak aman, CB *Open* 0.365 detik

Sedangkan ketika terjadi gangguan dan CB terbuka pada saat 0.365 detik yang terlihat pada Gambar 4.30, respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi. Dan menyebabkan respon sudut rotor pada generator Paiton 3 mengalami kenaikan sampai 186.23° dan menurun sampai -156.99° , akan tetapi respon sudut rotornya berangsur meredam dan nilainya menurun sampai dibawah 90° . Respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor stabil.

Respon frekuensi pada semua generator juga mengalami osilasi, namun frekuensi pada generator Paiton 3 naik hingga mencapai 52.295 Hz sebagaimana terlihat pada Gambar 4.31 yang melebihi batas frekuensi berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 sebesar 51.417 Hz. Dan dapat ditarik kesimpulan bahwa respon frekuensi dalam range yang tidak aman, meskipun respon sudut rotor dalam keadaan stabil. Sehingga untuk mendapatkan frekuensi yang aman, maka diperlukan pencarian waktu pembukaan CB kembali.

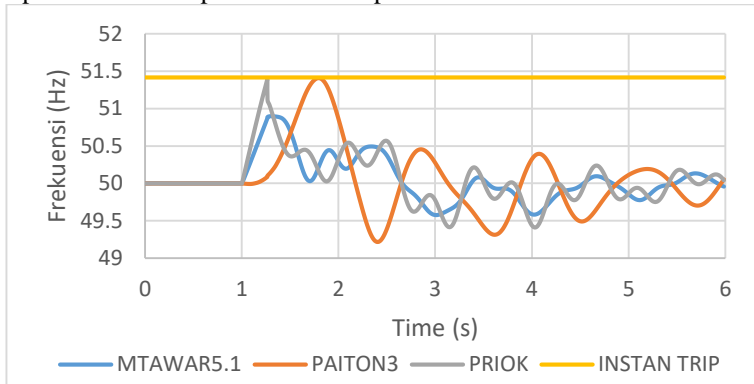
b. Waktu pemutusan kritis untuk frekuensi pada range aman



Gambar 4.32 Sudut rotor stabil, CB *Open* 0.264 detik

Pada Gambar 4.32 menunjukkan respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi yang menyebabkan respon sudut rotor pada generator Paiton 3 mengalami kenaikan hingga maksimal 103.46° dan minimal -108.19° . Karena respon sudut rotornya berangsur meredam dan

nilainya menurun sampai dibawah 90° menuju titik *steady state*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor stabil.



Gambar 4.33 Frekuensi range aman, CB *Open* 0.264 detik

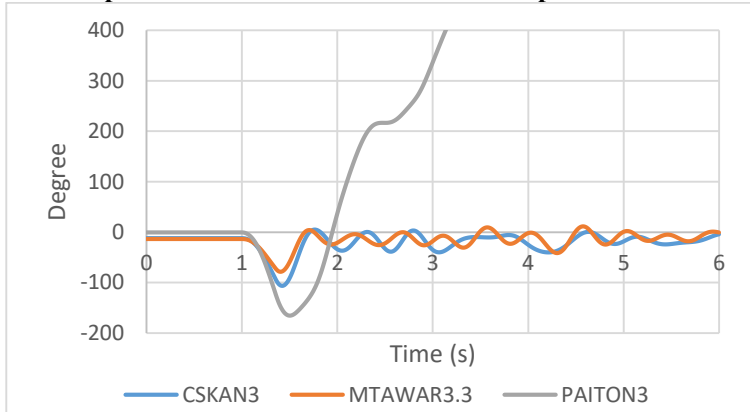
Sedangkan respon frekuensi pada generator Paiton 3 mengalami isolasi seperti yang terlihat pada Gambar 4.33, namun kenaikannya hanya mencapai 51.4075 Hz dan tidak melewati batas frekuensi yang ditetapkan pada standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 yaitu 51.417 Hz. Serta respon frekuensinya cenderung menuju titik *steady state* dan masih dalam batas standar frekuensi dengan *continuous operating range* 49.583 – 50.417 Hz. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pada pembukaan CB pada 0.264 detik, respon sudut rotor stabil dan frekuensi pada range aman.

4.2.4.2 Hubung Singkat 3 Fasa Saluran Gandul-Depok (dekat Bus Gandul)

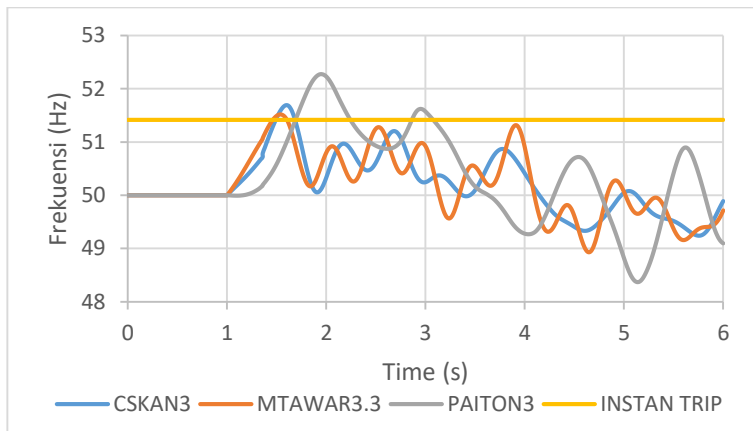
Pada kasus kedua ini, hubung singkat 3 fasa terjadi pada saluran Gandul-Depok (dekat bus Gandul). Dimana dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus ini, didapatkan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) yaitu 0.357 s untuk kondisi stabil pada respon sudut rotor dan 0.358 s untuk kondisi tidak stabil pada respon sudut rotor. Namun pada waktu pemutusan kritis baik 0.357 s maupun 0.358 s, respon frekuensi masih dalam range tidak aman. Sehingga waktu pemutusan krisis untuk range aman pada respon frekuensi adalah 0.266 s. Sedangkan hasil simulasi studi kasus

menentukan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) adalah sebagai berikut:

a. Waktu pemutusan kritis untuk kondisi stabil pada sudut rotor



Gambar 4.34 Sudut rotor tidak stabil kritis, CB *Open* 0.358 detik

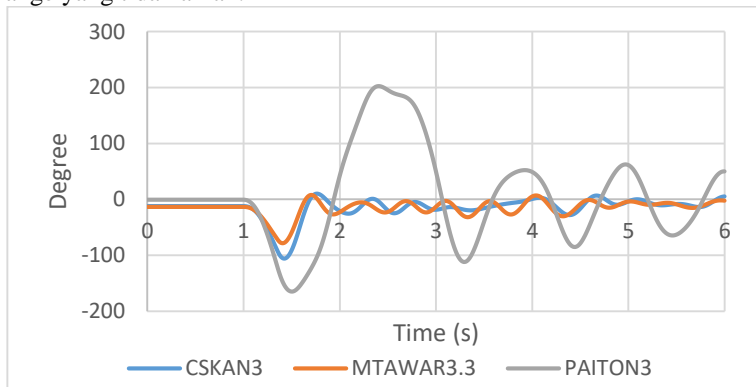


Gambar 4.35 Frekuensi range tidak aman, CB *Open* 0.358 detik

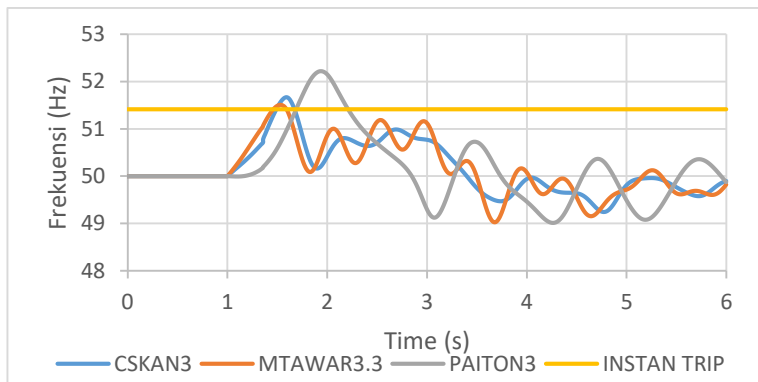
Terlihat pada Gambar 4.34 ketika terjadi gangguan dan CB terbuka pada saat 0.358 detik, respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi. Akan tetapi respon sudut rotor pada generator Paiton 3

mengalami kenaikan sampai melebihi batas kestabilan sebesar 180° dan generator tidak mampu meredam yang menyebabkan generator akan mengalami slipping pole terus menerus dan generator akan lepas sinkron dengan sistem. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor tidak stabil.

Dan respon frekuensi pada semua generator juga mengalami osilasi, hingga frekuensi pada generator Paiton 3 mencapai 52.276 Hz sebagaimana terlihat pada Gambar 4.35 yang melebihi batas frekuensi berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 sebesar 51.417 Hz. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon frekuensi dalam range yang tidak aman.



Gambar 4.36 Sudut rotor stabil, CB Open 0.357 detik

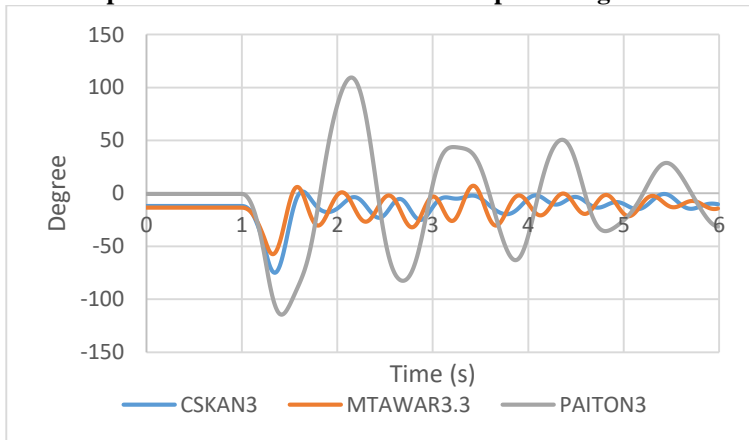


Gambar 4.37 Frekuensi range tidak aman, CB Open 0.357 detik

Sedangkan ketika terjadi gangguan dan CB terbuka pada saat 0.357 detik yang terlihat pada Gambar 4.36, respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi. Dan menyebabkan respon sudut rotor pada generator Paiton 3 mengalami kenaikan sampai 202.67° , akan tetapi respon sudut rotornya berangsur meredam dan nilainya menurun hingga dibawah 90° . Respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor stabil.

Respon frekuensi pada semua generator juga mengalami osilasi, namun frekuensi pada generator Paiton 3 naik hingga mencapai 52.22 Hz sebagaimana terlihat pada Gambar 4.37 yang melebihi batas frekuensi berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 sebesar 51.417 Hz. Dan dapat ditarik kesimpulan bahwa respon frekuensi dalam range yang tidak aman, meskipun respon sudut rotor dalam keadaan stabil. Sehingga untuk mendapatkan frekuensi yang aman, maka diperlukan pencarian waktu pembukaan CB kembali.

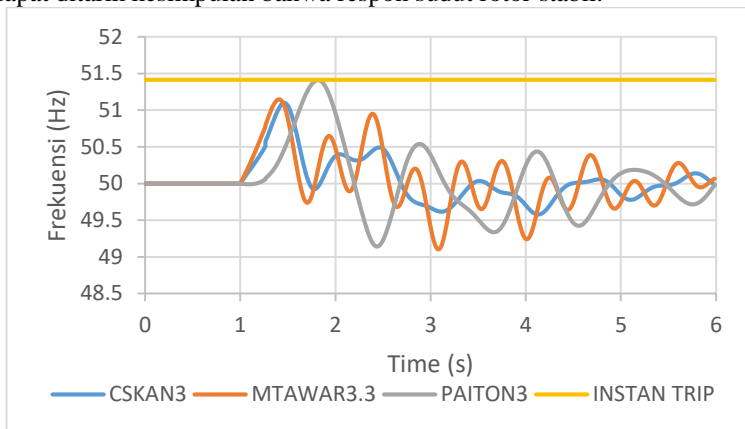
b. Waktu pemutusan kritis untuk frekuensi pada range aman



Gambar 4.38 Sudut rotor stabil, CB *Open* 0.266 detik

Pada Gambar 4.38 menunjukkan respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi yang menyebabkan respon sudut rotor pada generator Paiton 3 mengalami kenaikan hingga maksimal 109.38° dan minimal -114.24° . Karena respon sudut rotornya berangsur meredam dan

nilainya menurun sampai dibawah 90° menuju titik *steady state*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor stabil.



Gambar 4.39 Frekuensi range aman, CB *Open* 0.266 detik

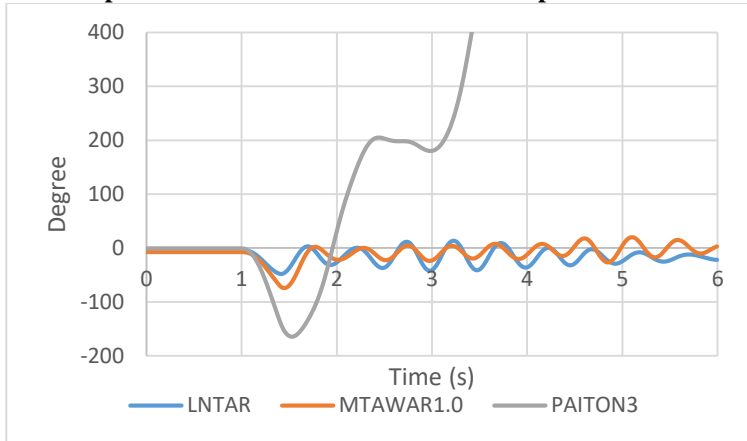
Sedangkan respon frekuensi pada generator Paiton 3 mengalami isolasi seperti yang terlihat pada Gambar 4.39, namun kenaikannya hanya mencapai 51.410 Hz dan tidak melewati batas frekuensi yang ditetapkan pada standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 yaitu 51.417 Hz. Serta respon frekuensinya cenderung menuju titik *steady state* dan masih dalam batas standar frekuensi dengan *continuous operating range* 49.583 – 50.417 Hz. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pada pembukaan CB pada 0.266 detik, respon sudut rotor stabil dan frekuensi pada range aman.

4.2.4.3 Hubung Singkat 3 Fasa Saluran Kembangan-Durikosambi (dekat Bus Kembangan)

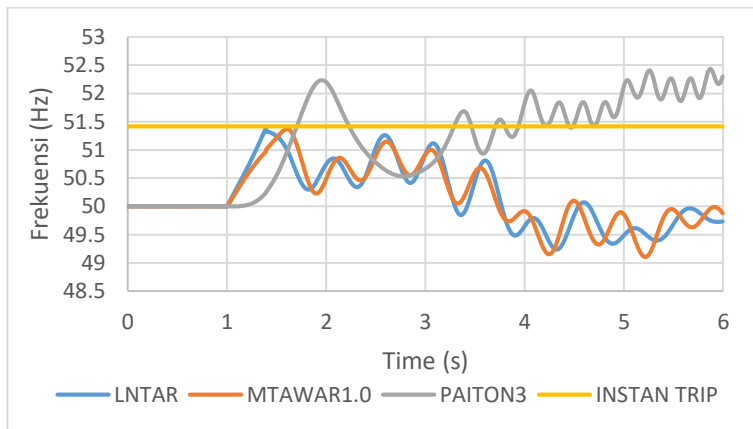
Pada kasus ketiga ini, hubung singkat 3 fasa terjadi pada saluran Kembangan-Durikosambi (dekat bus Kembangan). Dimana dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus ini, didapatkan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) yaitu 0.393 s untuk kondisi stabil pada respon sudut rotor dan 0.394 s untuk kondisi tidak stabil pada respon sudut rotor. Namun pada waktu pemutusan kritis baik 0.393 s maupun 0.394 s, respon frekuensi masih dalam range tidak aman. Sehingga waktu pemutusan krisis untuk range aman pada respon frekuensi adalah 0.288 s. Sedangkan hasil simulasi studi kasus

menentukan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) adalah sebagai berikut:

a. Waktu pemutusan kritis untuk kondisi stabil pada sudut rotor



Gambar 4.40 Sudut rotor tidak stabil kritis, CB *Open* 0.394 detik

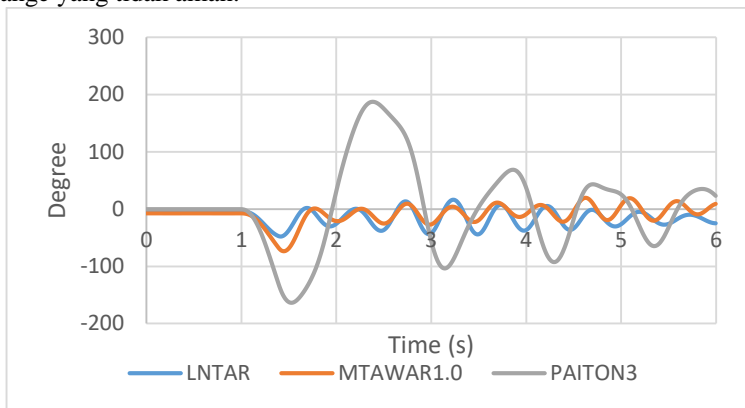


Gambar 4.41 Frekuensi range tidak aman, CB *Open* 0.394 detik

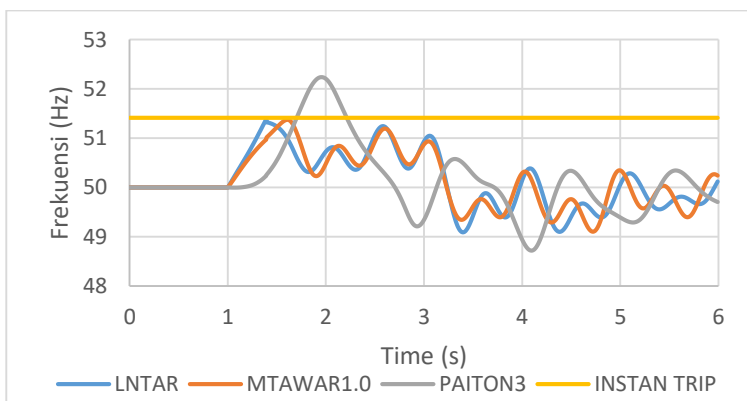
Terlihat pada Gambar 4.40 ketika terjadi gangguan dan CB terbuka pada saat 0.394 detik, respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi. Akan tetapi respon sudut rotor pada generator Paiton 3 mengalami kenaikan sampai melebihi batas kestabilan sebesar 180° dan

generator tidak mampu meredam yang menyebabkan generator akan mengalami slipping pole terus menerus dan generator akan lepas sinkron dengan sistem. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor tidak stabil.

Dan respon frekuensi pada semua generator juga mengalami osilasi, hingga frekuensi pada generator Paiton 3 mencapai 52.43 Hz sebagaimana terlihat pada Gambar 4.41 yang melebihi batas frekuensi berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 sebesar 51.417 Hz. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon frekuensi dalam range yang tidak aman.



Gambar 4.42 Sudut rotor stabil, CB *Open* 0.393 detik

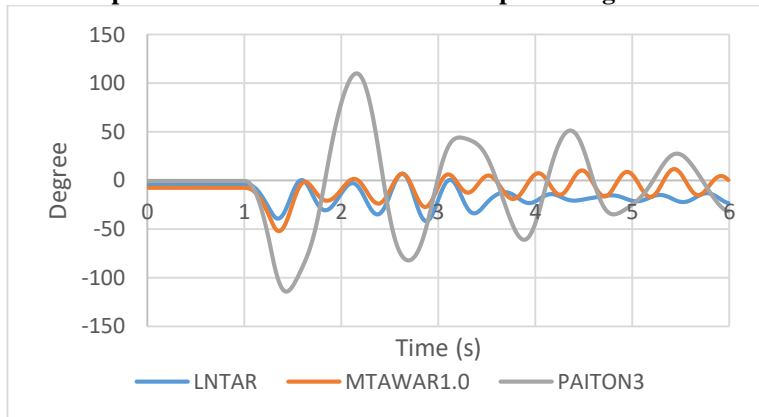


Gambar 4.43 Frekuensi range tidak aman, CB *Open* 0.393 detik

Sedangkan ketika terjadi gangguan dan CB terbuka pada saat 0.393 detik yang terlihat pada Gambar 4.42, respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi. Dan menyebabkan respon sudut rotor pada generator Paiton 3 mengalami kenaikan sampai 186.97°, akan tetapi generator mampu meredam dan respon sudut rotornya berangsur menurun hingga nilainya dibawah 90°. Respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor stabil.

Respon frekuensi pada semua generator juga mengalami osilasi, namun frekuensi pada generator Paiton 3 naik hingga mencapai 52.239 Hz sebagaimana terlihat pada Gambar 4.43 yang melebihi batas frekuensi berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 sebesar 51.417 Hz. Dan dapat ditarik kesimpulan bahwa respon frekuensi dalam range yang tidak aman, meskipun respon sudut rotor dalam keadaan stabil. Sehingga untuk mendapatkan frekuensi yang aman, maka diperlukan pencarian waktu pembukaan CB kembali.

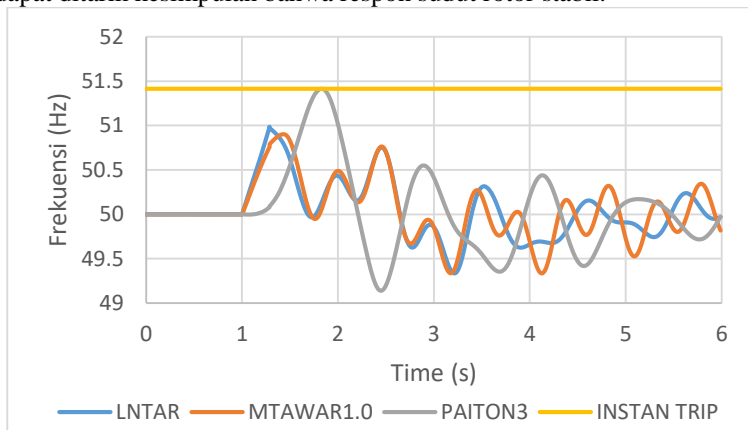
b. Waktu pemutusan kritis untuk frekuensi pada range aman



Gambar 4.44 Sudut rotor stabil, CB *Open* 0.288 detik

Pada Gambar 4.44 menunjukkan respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi yang menyebabkan respon sudut rotor pada generator Paiton 3 mengalami kenaikan hingga maksimal 109.9° dan minimal -114.03°. Karena respon sudut rotornya berangsur meredam dan

nilainya menurun sampai dibawah 90° menuju titik *steady state*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor stabil.



Gambar 4.45 Frekuensi range aman, CB *Open* 0.288 detik

Sedangkan respon frekuensi pada generator Paiton 3 mengalami isolasi seperti yang terlihat pada Gambar 4.45, namun kenaikannya hanya mencapai 51.414 Hz dan tidak melewati batas frekuensi yang ditetapkan pada standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 yaitu 51.417 Hz. Serta respon frekuensinya cenderung menuju titik *steady state* dan masih dalam batas standar frekuensi dengan *continuous operating range* 49.583 – 50.417 Hz. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pada pembukaan CB pada 0.288 detik, respon sudut rotor stabil dan frekuensi pada range aman.

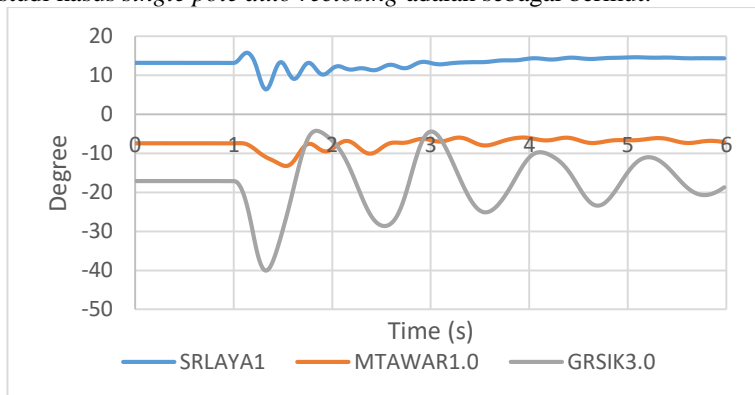
4.2.5 Single Pole Auto Reclosing

Pada studi kasus ini dilakukan analisis kestabilan transien untuk menentukan waktu *single pole auto reclosing*, namun sebelumnya dilakukan simulasi analisis hubung singkat seperti *critical clearing time*(CCT) untuk mengetahui 3 bus yang memiliki arus hubung singkat 1 fasa ke tanah paling besar pada kondisi beban puncak. Sehingga berdasarkan Tabel 4.5 yang merupakan hasil simulasi analisis hubung singkat 1 fasa ke tanah, didapatkan 3 bus dengan arus hubung singkat terbesar yaitu bus Muara Tawar, bus Suralaya dan bus Banten. Dan untuk analisis dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi

kasus menentukan waktu *single pole auto reclosing* adalah sebagai berikut:

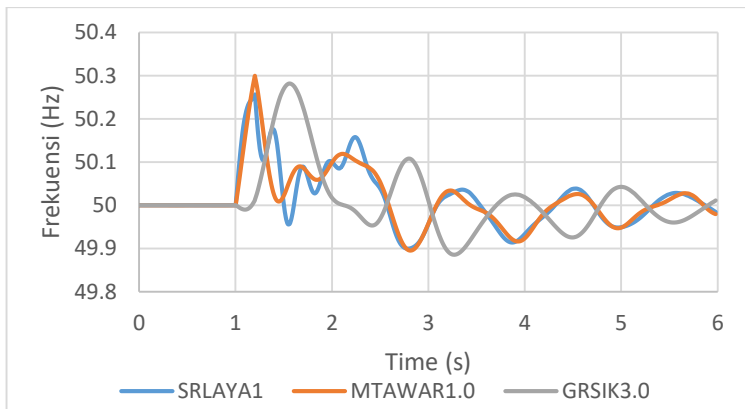
4.2.5.1 Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah pada Saluran Muara Tawar-Priok(dekat Bus Muara Tawar)

Pada kasus pertama ini, hubung singkat 1 fasa ke tanah terjadi pada saluran Muara Tawar-Priok (dekat bus Muara Tawar). Dimana dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus ini, didapatkan penentuan waktu *single pole auto reclosing* yaitu 0.2 s untuk pembukaan CB dan 0.9 s untuk waktu penutupan CB kembali berdasarkan rekomendasi oleh PLN untuk jenis *single pole auto reclose* (SPAR) dengan waktu 0.8 – 1 detik. Sedangkan hasil simulasi studi kasus *single pole auto reclosing* adalah sebagai berikut:



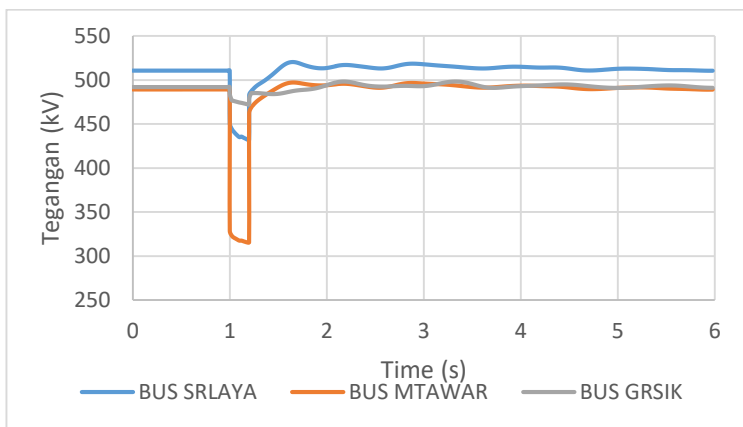
Gambar 4.46 Respon sudut rotor untuk kasus pertama

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami isolasi dan berubah dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.46 diatas. Dimana sudut rotor pada generator Gresik 3.0 mengalami isolasi paling besar hingga mencapai -40.05° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun respon sudut rotornya mampu diredam dan cenderung menuju titik *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.



Gambar 4.47 Respon frekuensi untuk kasus pertama

Dan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami isolasi ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.47. Dimana frekuensi pada generator Muara Tawar 1.0 mengalami kenaikan hingga 50.3 Hz, namun respon frekuensi meredam dan berangsur kembali menuju titik *steady state*. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.

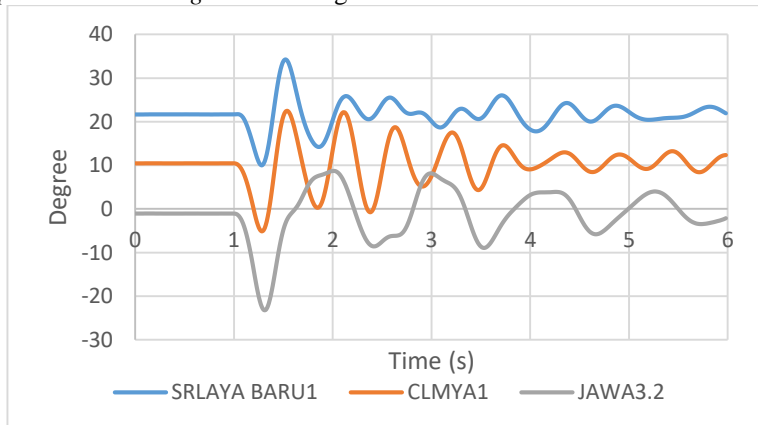


Gambar 4.48 Respon tegangan untuk kasus pertama

Sedangkan respon tegangan juga mengalami penurunan hingga mencapai 315.41 kV atau 63.08% dari tegangan nominalnya sebagaimana terlihat pada Gambar 4.48, maka kedip tegangan diatas 50% dan dibawah 70% yang diperbolehkan selama 0.2 detik berdasarkan standar voltage sag SEMI F47. Akan tetapi tegangan kembali naik pada 0.2 detik dan menuju titik *steady state*, Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Suralaya menjadi 510.61 kV, dan pada bus Muara Tawar menjadi 489.089 kV serta pada bus Gresik menjadi 491.23 kV. Dan untuk kondisi *steady state* berdasarkan standar PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

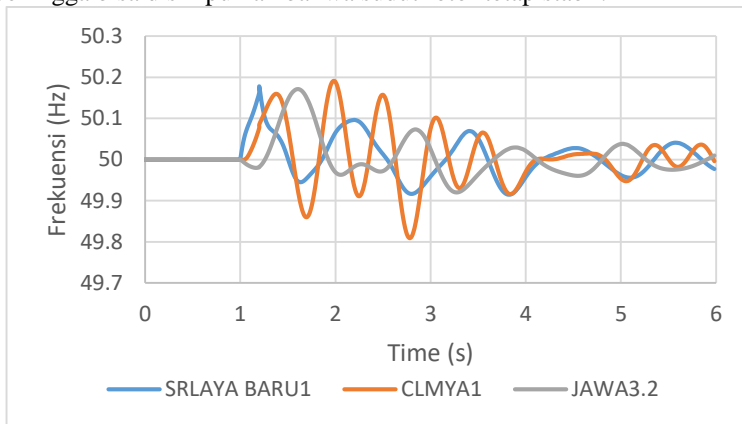
4.2.5.2 Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah pada Saluran Suralaya-Suralaya Baru(dekat Bus Suralaya)

Pada kasus kedua ini, hubung singkat 1 fasa ke tanah terjadi pada saluran Suralaya-Suralaya Baru (dekat bus Suralaya). Dimana dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus ini, didapatkan penentuan waktu *single pole auto reclosing* yaitu 0.2 s untuk pembukaan CB dan 0.9 s untuk waktu penutupan CB kembali berdasarkan rekomendasi oleh PLN untuk jenis *single pole auto reclose* (SPAR) dengan waktu 0.8 – 1 detik. Sedangkan hasil simulasi studi kasus *single pole auto reclosing* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.49 Respon sudut rotor untuk kasus kedua

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami isolasi dan berubah dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.49 diatas. Dimana sudut rotor pada generator Suralaya Baru 1 mengalami isolasi paling besar hingga mencapai 34.3° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun respon sudut rotornya mampu diredam dan cenderung menuju titik *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

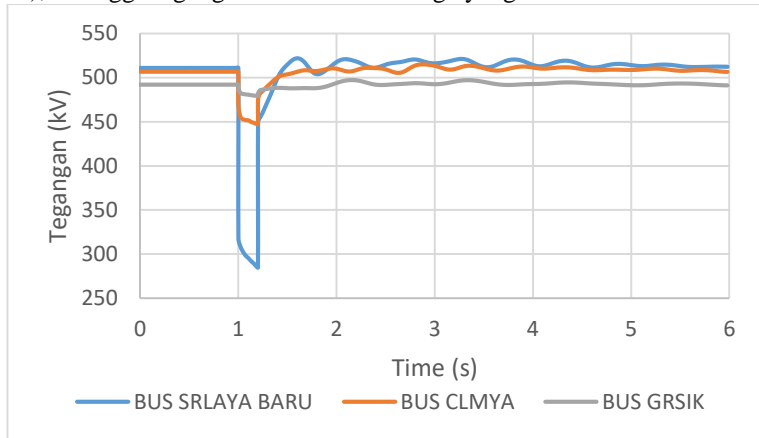


Gambar 4.50 Respon frekuensi untuk kasus kedua

Dan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami isolasi ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.50. Dimana frekuensi pada generator Cilamaya 1 mengalami kenaikan hingga 50.19 Hz, namun respon frekuensi meredam dan berangsur kembali menuju titik *steady state*. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.

Sedangkan respon tegangan juga mengalami penurunan hingga mencapai 284.85 kV atau 56.97% dari tegangan nominalnya sebagaimana terlihat pada Gambar 4.51, maka kedip tegangan diatas 50% dan dibawah 70% yang diperbolehkan selama 0.2 detik berdasarkan standar voltage sag SEMI F47. Akan tetapi tegangan kembali naik pada 0.2 detik dan menuju titik *steady state*, Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Suralaya Baru menjadi 512.35 kV, dan pada bus Cilamaya menjadi 506.515 kV serta pada bus Gresik menjadi

491.252 kV. Dan untuk kondisi *steady state* berdasarkan standar PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

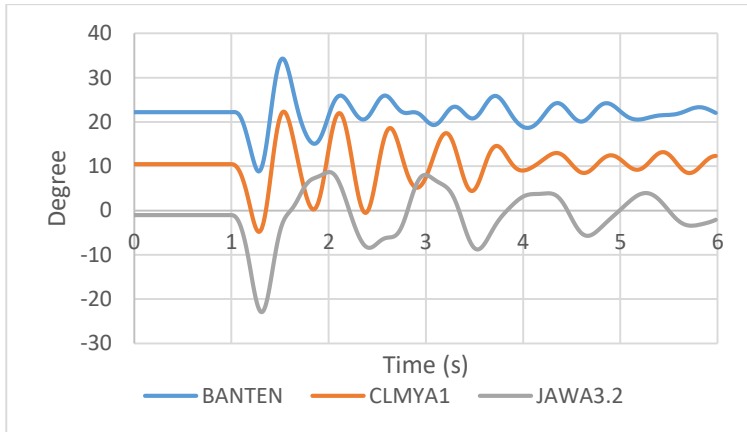


Gambar 4.51 Respon tegangan untuk kasus kedua

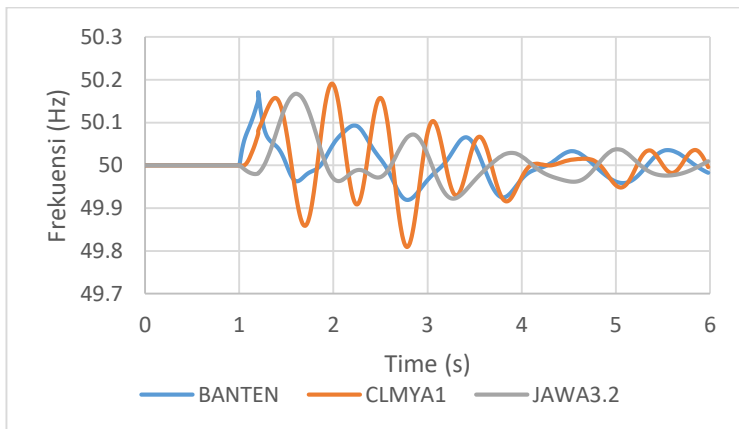
4.2.5.3 Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah pada Saluran Banten-Suralaya Baru(dekat Bus Banten)

Pada kasus ketiga ini, hubung singkat 1 fasa ke tanah terjadi pada saluran Banten-Suralaya Baru (dekat bus Banten). Dimana dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus ini, didapatkan penentuan waktu *single pole auto reclosing* yaitu 0.2 s untuk pembukaan CB dan 0.9 s untuk waktu penutupan CB kembali berdasarkan rekomendasi oleh PLN untuk jenis *single pole auto reclose* (SPAR) dengan waktu 0.8 – 1 detik. Sedangkan hasil simulasi studi kasus *single pole auto reclosing* adalah sebagai berikut:

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami isolasi dan berubah dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.52 diatas. Dimana sudut rotor pada generator Banten mengalami isolasi paling besar hingga mencapai 34.32°. meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun respon sudut rotornya mampu diredam dan cenderung menuju titik *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.



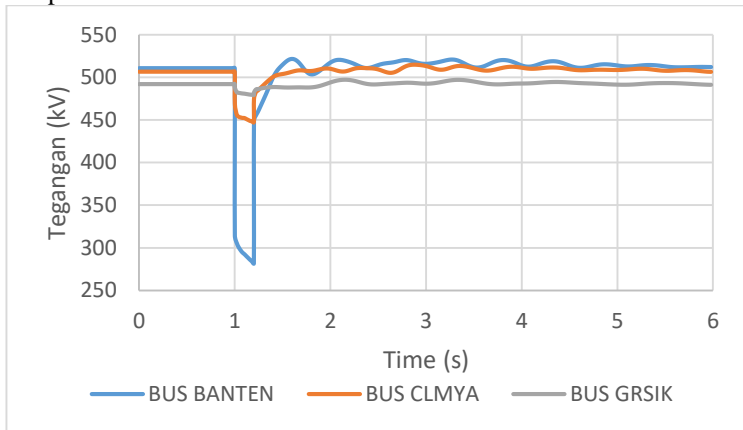
Gambar 4.52 Respon sudut rotor untuk kasus ketiga



Gambar 4.53 Respon frekuensi untuk kasus ketiga

Dan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami isolasi ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.53. Dimana frekuensi pada generator Cilamaya 1 mengalami kenaikan hingga 50.191 Hz, namun respon frekuensi meredam dan berangsur kembali menuju titik *steady state*. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi

untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



Gambar 4.54 Respon tegangan untuk kasus ketiga

Sedangkan respon tegangan juga mengalami penurunan hingga mencapai 281.55 kV atau 56.31% dari tegangan nominalnya sebagaimana terlihat pada Gambar 4.54, maka kedip tegangan diatas 50% dan dibawah 70% yang diperbolehkan selama 0.2 detik berdasarkan standar voltage sag SEMI F47. Akan tetapi tegangan kembali naik pada 0.2 detik dan menuju titik *steady state*, Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Banten menjadi 512.35 kV, dan pada bus Cilamaya menjadi 506.53 kV serta pada bus Gresik menjadi 491.262 kV. Dan untuk kondisi *steady state* berdasarkan standar PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

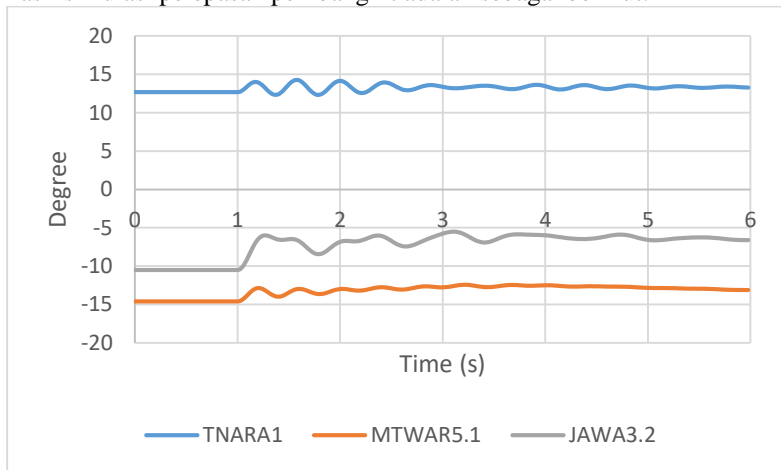
4.3 Kondisi Beban Dasar

4.3.1 Pelepasan Generator

Pada kasus ini dilakukan tiga kali percobaan pelepasan generator pada kondisi beban dasar. Dimana setiap kali percobaan, generator dengan kapasitas terbesar yang akan dilepaskan dari sistem yaitu Bojanegara 2, Cirebon dan Cilacap 2. Dan untuk analisis dari hasil simulasi tiap percobaan pada studi kasus pelepasan generator adalah sebagai berikut:

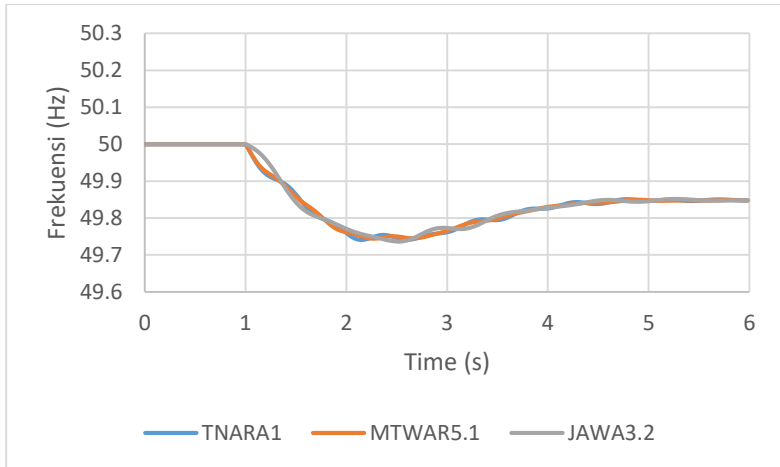
4.3.1.1 PLTU Bojanegara 2 Lepas dari Sistem pada $t=1s$

Pada kasus pertama ini, generator Bojanegara 2 yang memiliki kapasitas sebesar 1000 MW dengan daya yang terbangkit sebesar 800 MW terlepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025. Dimana saat kondisi beban dasar, sistem ini memiliki generator dengan daya yang dibangkitkan 16741.6 MW dan daya yang dibutuhkan beban 16611.45 MW. Dan sistem kehilangan 800 MW atau 4.779% dari seluruhan daya yang dibangkitkan sistem karena lepasnya generator Bojanegara 2 dari sistem, akan tetapi pembangkit sistem yang bekerja masih mampu untuk memenuhi kebutuhan beban. Sedangkan hasil simulasi pelepasan pembangkit adalah sebagai berikut:



Gambar 4.55 Respon sudut rotor saat lepasnya generator Bojanegara 2

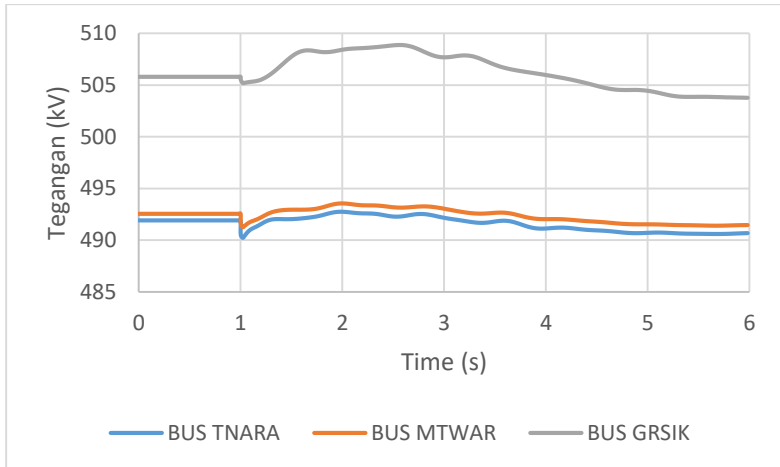
Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.55 diatas. Dimana pada generator Tanjung Ara 1 nilai sudut rotornya naik dari 12.69° ke 13.28° dan pada generator Muara Tawar 5.1 nilai sudut rotornya naik dari -14.61° ke -13.11° serta pada generator Jawa 3.2 nilai sudut rotornya juga naik dari -10.51° ke -6.59° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.



Gambar 4.56 Respon frekuensi saat lepasnya generator Bojanegara 2

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.56. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena sistem kehilangan daya sebesar 800 MW, akan tetapi setelah itu respon frekuensi berangsur mengalami kenaikan sampai pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.848 Hz untuk generator Tanjung Ara 1, 49.848 Hz untuk generator Muara Tawar 5.1 dan 49.8485 Hz untuk generator Jawa 3.2. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.

Begitupun respon tegangan juga mengalami perubahan dari nilai sebelum gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.57 karena hilangnya daya sebesar 800 MW dari sistem. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Tanjung Ara turun sampai 490.69 kV, dan pada bus Muara Tawar turun sampai 491.46 kV serta pada bus Gresik turun sampai 503.8 kV. Namun berdasarkan standar PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

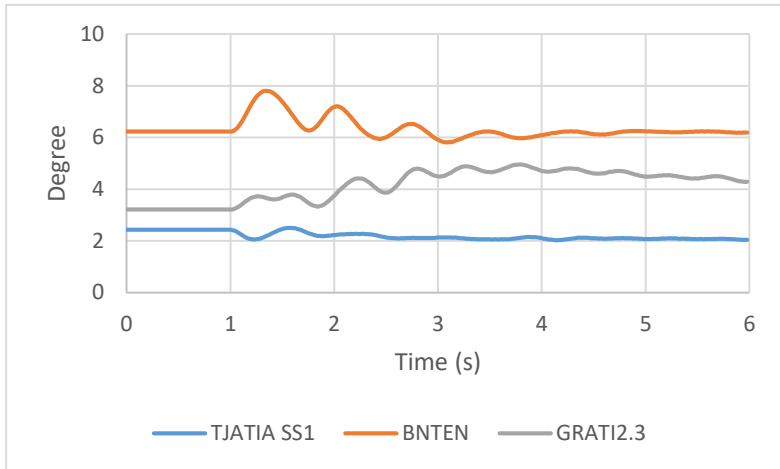


Gambar 4.57 Respon tegangan saat lepasnya generator Bojanegara 2

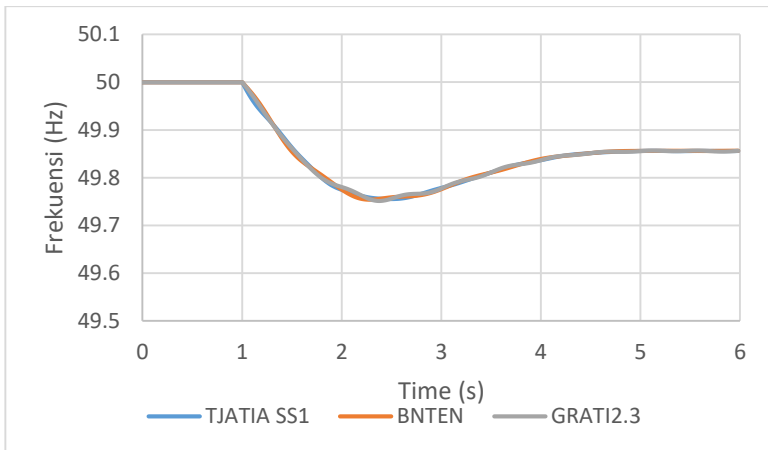
4.3.1.2 PLTU Cirebon Lepas dari Sistem pada $t=1s$

Pada kasus kedua ini, generator Cirebon yang memiliki kapasitas sebesar 1000 MW dengan daya yang terbangkit sebesar 750 MW terlepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025. Dimana saat kondisi beban dasar, sistem ini memiliki generator dengan daya yang dibangkitkan 16741.6 MW dan daya yang dibutuhkan beban 16611.45 MW. Dan sistem kehilangan 750 MW atau 4.48% dari seluruhan daya yang dibangkitkan sistem karena lepasnya generator Cirebon dari sistem, akan tetapi pembangkit sistem yang bekerja masih mampu untuk memenuhi kebutuhan beban. Sedangkan hasil simulasi pelepasan pembangkit adalah sebagai berikut:

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.58 diatas. Dimana pada generator Tanjung Jati A SS1 nilai sudut rotornya turun dari 2.43° ke 2.04° dan pada generator Banten nilai sudut rotornya juga turun dari 6.33° ke 6.19° , sedangkan pada generator Grati 2.3 nilai sudut rotornya naik dari 3.22° ke 4.29° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.



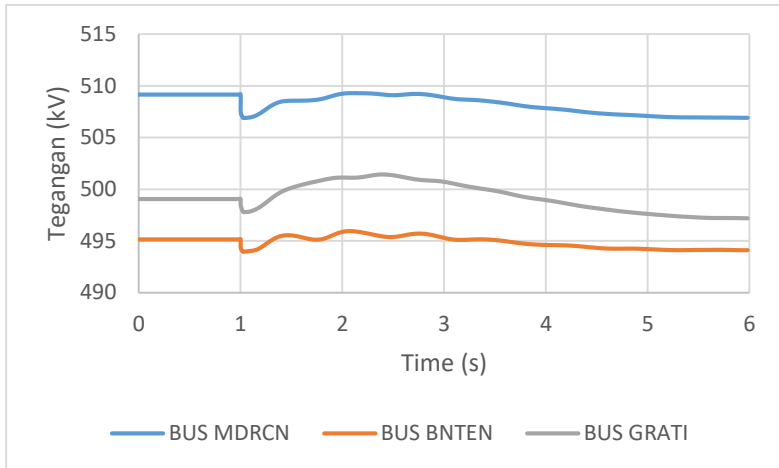
Gambar 4.58 Respon sudut rotor saat lepasnya generator Cirebon



Gambar 4.59 Respon frekuensi saat lepasnya generator Cirebon

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.59. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena sistem kehilangan daya sebesar 750 MW, akan tetapi setelah itu

respon frekuensi berangsur mengalami kenaikan sampai pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.86 Hz untuk generator Tanjung Jati A SS1, 49.86 Hz untuk generator Banten dan 49.86 Hz untuk generator Grati 2.3. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



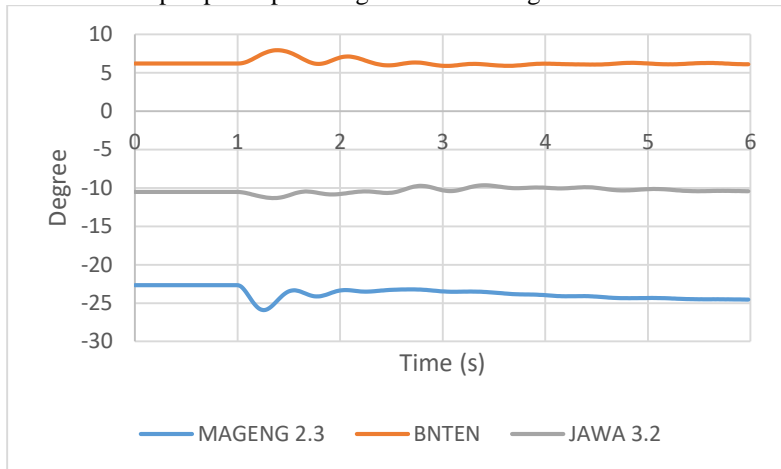
Gambar 4.60 Respon tegangan saat lepasnya generator Cirebon

Begitupun respon tegangan juga mengalami penurunan dari nilai sebelum gangguan karena hilangnya daya sebesar 750 MW dari sistem sebagaimana terlihat pada Gambar 4.60. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Mandiracan turun menjadi 506.91 kV, dan pada bus Banten turun menjadi 494.1 kV serta pada bus Grati turun menjadi 497.19 kV. Namun berdasarkan standar PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

4.3.1.3 PLTU Cilacap 2 Lepas dari Sistem pada $t=1s$

Pada kasus ketiga ini, generator Cilacap 2 yang memiliki kapasitas sebesar 1000 MW dengan daya yang terbangkit sebesar 800 MW terlepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025. Dimana saat kondisi beban dasar, sistem ini memiliki

generator dengan daya yang dibangkitkan 16741.6 MW dan daya yang dibutuhkan beban 16611.45 MW. Dan sistem kehilangan 800 MW atau 4.779% dari seluruhnya daya yang dibangkitkan sistem karena lepasnya generator Cilacap 2 dari sistem, akan tetapi pembangkit sistem yang bekerja masih mampu untuk memenuhi kebutuhan beban. Sedangkan hasil simulasi pelepasan pembangkit adalah sebagai berikut:

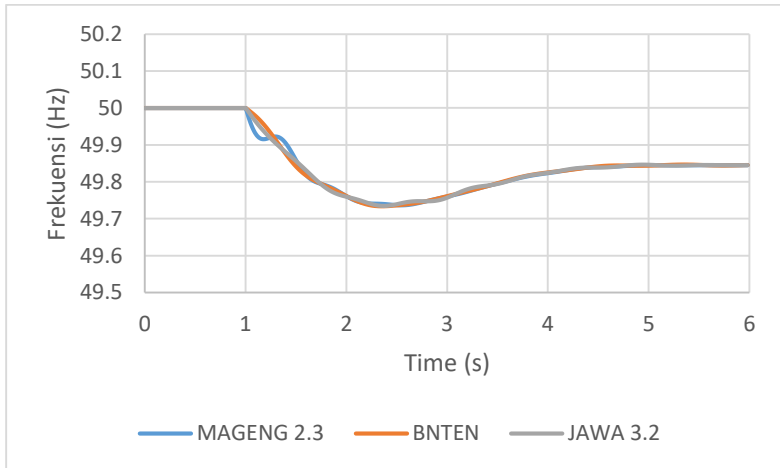


Gambar 4.61 Respon sudut rotor saat lepasnya generator Cilacap 2

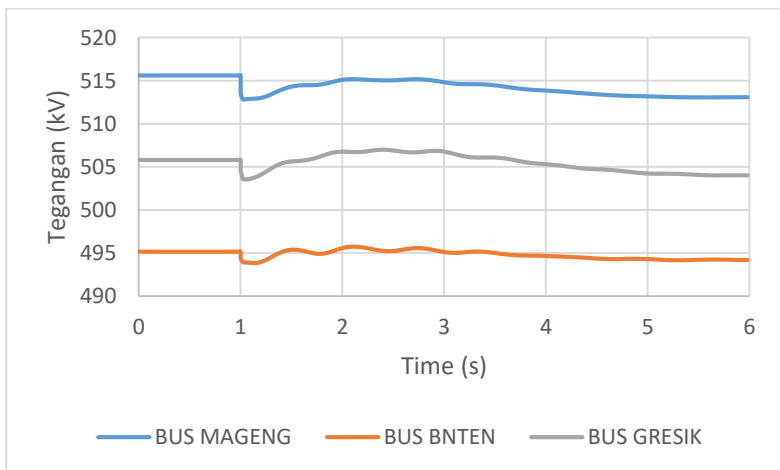
Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.61 diatas. Dimana pada generator Matenggeng 2.3 nilai sudut rotornya turun dari -22.66° ke -24.54° dan pada generator Banten nilai sudut rotornya jugaturun dari 6.23° ke 6.13° , sedangkan pada generator Jawa 3.2 nilai sudut rotornya juga naik dari -10.51° ke -10.42° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami sedikit osilasi, namun respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.62. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena sistem kehilangan daya sebesar 800 MW, akan tetapi setelah itu respon frekuensi berangsur mengalami kenaikan sampai pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.845 Hz untuk generator Matenggeng 2.3, 49.846 Hz untuk generator Banten dan 49.845 Hz untuk generator Jawa

3.2. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



Gambar 4.62 Respon frekuensi saat lepasnya generator Cilacap 2



Gambar 4.63 Respon tegangan saat lepasnya generator Cilacap 2

Begitupun respon tegangan juga mengalami penurunan dari nilai sebelum gangguan karena hilangnya daya sebesar 800 MW dari sistem sebagaimana terlihat pada Gambar 4.63. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Matenggeng turun menjadi 513.1 kV, dan pada bus Banten turun menjadi 494.18 kV serta pada bus Gresik turun menjadi 504.02 kV. Namun berdasarkan standar PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

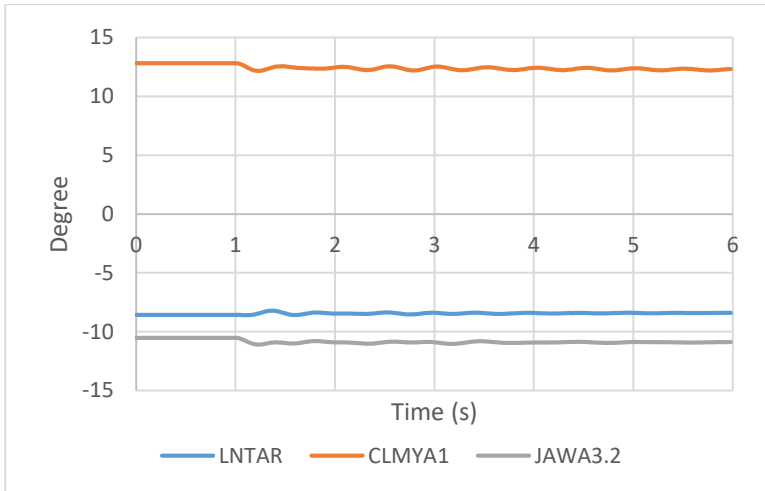
4.3.2 Pelepasan Satu Saluran dari Saluran Ganda Tanpa Gangguan

Pada kasus ini dilakukan tiga kali percobaan pelepasan satu saluran dari saluran ganda tanpa gangguan pada kondisi beban dasar. Dimana setiap kali percobaan, satu saluran dari saluran ganda dengan aliran daya terbesar yang akan dilepaskan dari sistem yaitu saluran Cilamaya ke Cibatu 2, saluran Cikupa menuju ke Kembangan dan saluran Lekong menuju ke Balaraja. Dan analisis dari hasil simulasi untuk studi kasus pelepasan satu saluran dari saluran ganda tanpa gangguan adalah sebagai berikut:

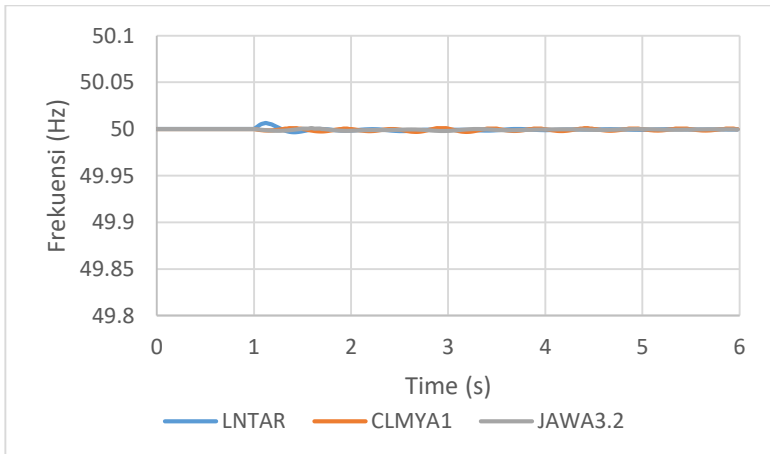
4.3.2.1 Satu Saluran dari Saluran Cilamaya-Cibatu 2 Lepas dari Sistem pada $t=1s$

Pada kasus pertama ini, satu saluran dari saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2 yang memiliki aliran daya sebesar 1279.178 MW akan lepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025 tanpa gangguan. Sehingga didapat hasil simulasi pelepasan satu saluran dari saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2 sebagai berikut:

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.64 diatas. Dimana pada generator Lontar nilai sudut rotornya naik dari -8.57° ke -8.4° , sedangkan pada generator Cilamaya 1 nilai sudut rotornya juga turun dari 12.83° ke 12.33° dan pada generator Jawa 3.2 nilai sudut rotornya juga turun dari -10.51° ke -10.88° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami sedikit osilasi, namun pada detik ke 6, respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.



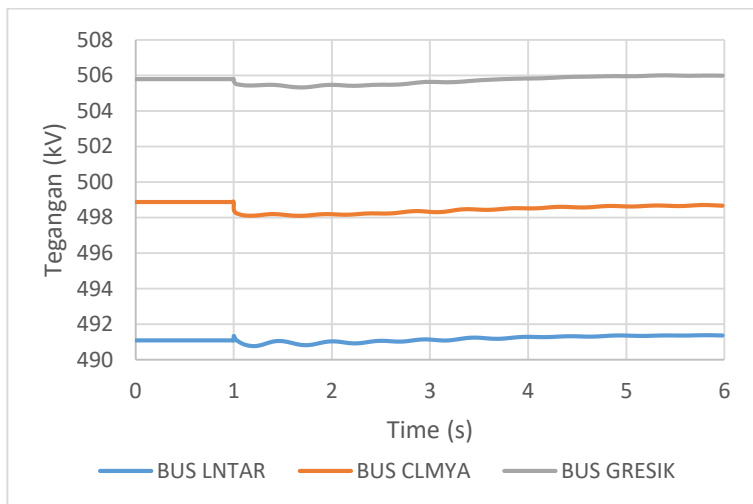
Gambar 4.64 Respon sudut rotor saat lepasnya satu saluran dari saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2



Gambar 4.65 Respon frekuensi saat lepasnya satu saluran dari saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada

Gambar 4.65. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena terlepasnya satu saluran dari saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2 yang memiliki aliran daya sebesar 1279.177 MW, akan tetapi setelah itu frekuensi sedikit mengalami osilasi, namun frekuensi mampu mencapai *steady state*. Dan pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.99 Hz untuk generator Lontar, 49.99 Hz untuk generator Cilamaya 1 dan 49.99 Hz untuk generator Jawa 3.2. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



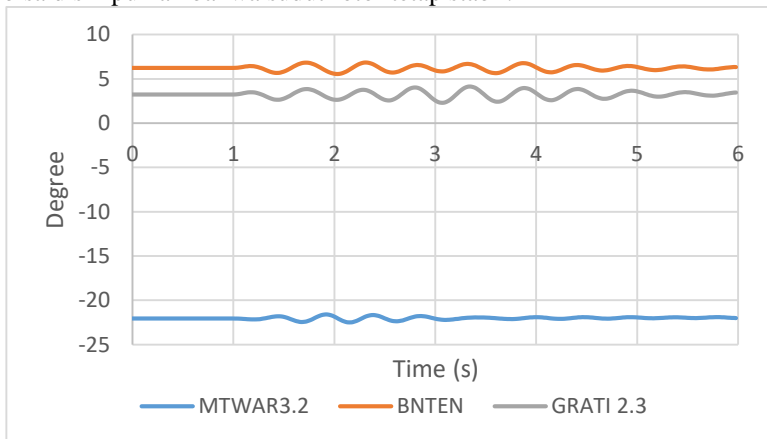
Gambar 4.66 Respon tegangan saat lepasnya satu saluran dari saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2

Begitupun respon tegangan juga mengalami perubahan karena terlepasnya satu saluran dari saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2 yang memiliki aliran daya sebesar 1279.177 MW. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Lontar naik menjadi 491.36 kV, dan pada bus Cilamaya turun menjadi 498.67 kV serta pada bus Gresik naik menjadi 505.99 kV dari nilai awalnya sebelum gangguan. Namun berdasarkan standar dari PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

4.3.2.2 Satu Saluran dari Saluran Kembangan-Cikupa Lepas dari Sistem pada $t=1s$

Pada kasus kedua ini, satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa yang memiliki aliran daya sebesar 1233.677 MW akan lepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025 tanpa gangguan. Sehingga didapat hasil simulasi pelepasan satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa sebagai berikut:

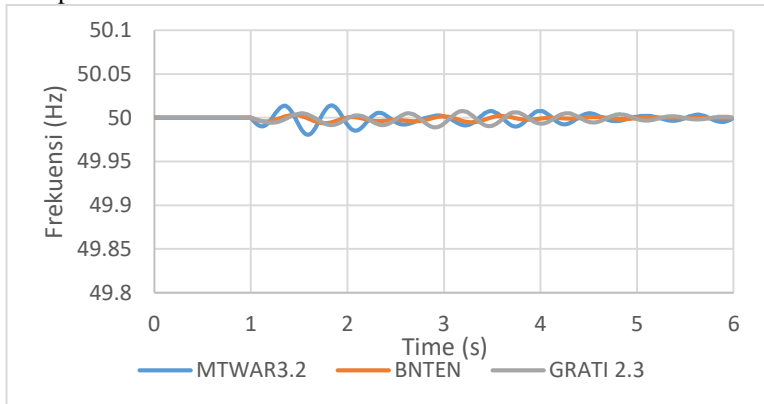
Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.67 diatas. Dimana pada generator Muara Tawar 3.2 nilai sudut rotornya naik dari -22.06° ke -22.02° dan pada generator Banten nilai sudut rotornya naik dari 6.23° ke 6.32° serta pada generator Grati 2.3 nilai sudut rotornya juga naik dari 3.22° ke 3.44° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami sedikit osilasi, namun pada detik ke 6, respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.



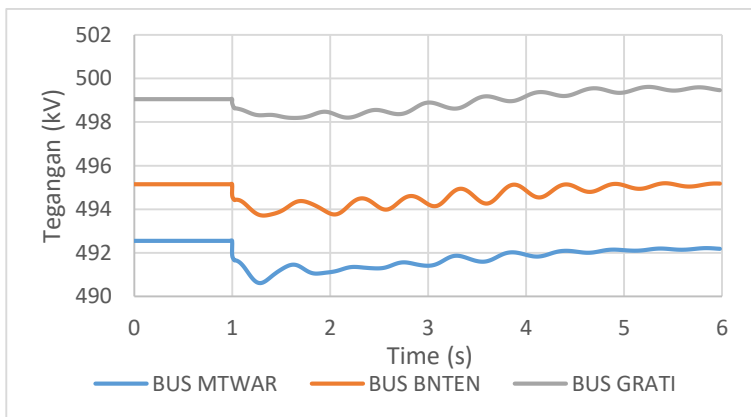
Gambar 4.67 Respon sudut rotor saat lepasnya satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.68. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena terlepasnya satu saluran dari saluran saluran Kembangan menuju ke Cikupa yang memiliki aliran daya sebesar 1233.677 MW, akan tetapi

setelah itu frekuensi sedikit mengalami osilasi, namun frekuensi mampu mencapai *steady state*. Dan pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.998 Hz untuk generator Muara Tawar 3.2, 49.999 Hz untuk generator Banten dan 50.005 Hz untuk generator Grati 2.3. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



Gambar 4.68 Respon frekuensi saat lepasnya satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa

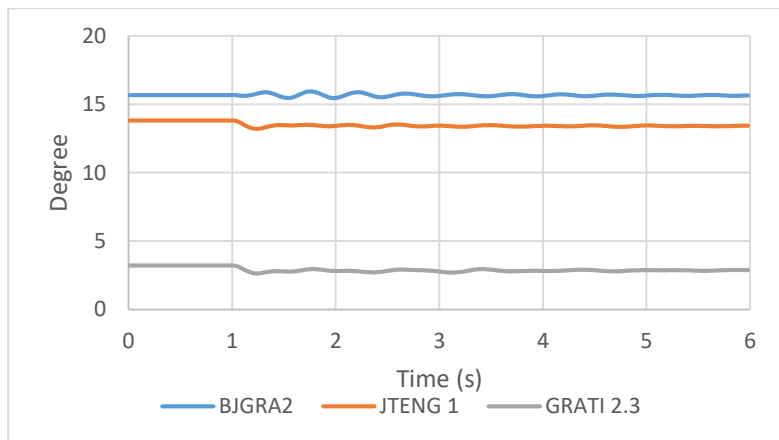


Gambar 4.69 Respon tegangan saat lepasnya satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa

Begitupun respon tegangan juga mengalami perubahan karena terlepasnya satu saluran dari saluran Kembangan menuju ke Cikupa yang memiliki aliran daya sebesar 1233.677 MW sebagaimana terlihat pada Gambar 4.69. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Muara Tawar turun menjadi 492.18 kV, dan pada bus Banten naik menjadi 495.18 kV serta pada bus Grati naik menjadi 499.46 kV dari nilai tegangan awalnya sebelum terjadi gangguan. Namun berdasarkan standar dari PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

4.3.2.3 Satu Saluran dari Saluran Balaraja-Lekong Lepas dari Sistem pada $t=1s$

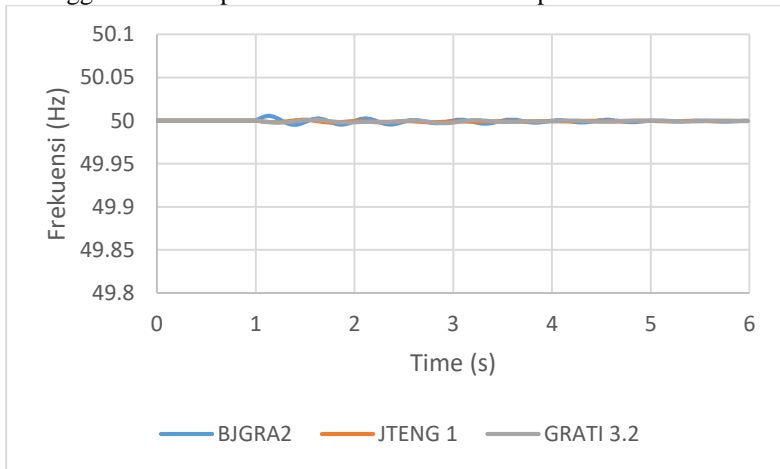
Pada kasus ketiga ini, satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong yang memiliki aliran daya sebesar 1167.829 MW akan lepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025 tanpa gangguan. Sehingga didapat hasil simulasi pelepasan satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong sebagai berikut:



Gambar 4.70 Respon sudut rotor saat lepasnya satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.70 diatas. Dimana pada generator Bojanegara 2 nilai sudut

rotornya turun dari 15.67° ke 15.65° dan pada generator Jawa Tengah 1 nilai sudut rotornya turun dari 13.82° ke 13.44° , sedangkan pada generator Grati 2.3 nilai sudut rotornya juga turun dari 3.22° ke 2.87° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami sedikit osilasi, namun pada detik ke 6, respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

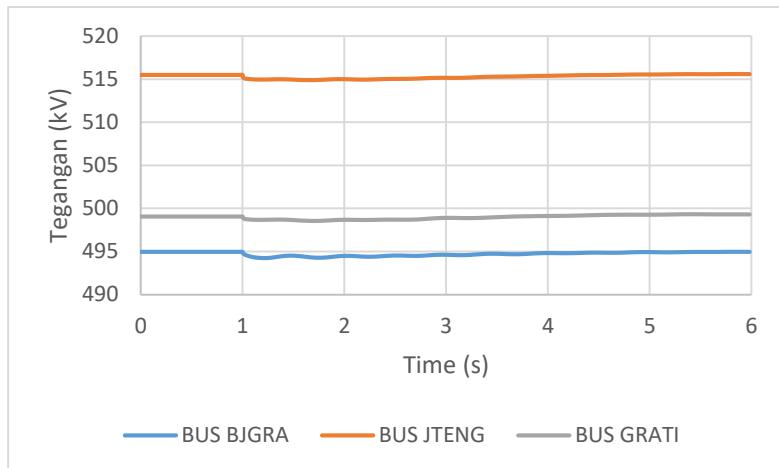


Gambar 4.71 Respon frekuensi saat lepasnya satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.71. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena terlepasnya satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong yang memiliki aliran daya sebesar 1167.829 MW, akan tetapi setelah itu frekuensi sedikit mengalami osilasi, namun frekuensi mampu mencapai *steady state*. Dan pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.99 Hz untuk generator Bojanegara 2, 49.99 Hz untuk generator Jawa Tengah 1 dan 49.99 Hz untuk generator Grati 2.3. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.

Begitupun respon tegangan juga mengalami perubahan karena terlepasnya satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong yang memiliki aliran daya sebesar 1167.829 MW sebagaimana terlihat pada

Gambar 4.72. Namun respon tegangan mampu mencapai kondisi *steady state*, Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Bojanegara sebesar 494.96 kV, dan pada bus Jawa Tengah sebesar 515.59 kV serta pada bus Grati sebesar 499.3 kV. Namun berdasarkan standar dari PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.



Gambar 4.72 Respon tegangan saat lepasnya satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong

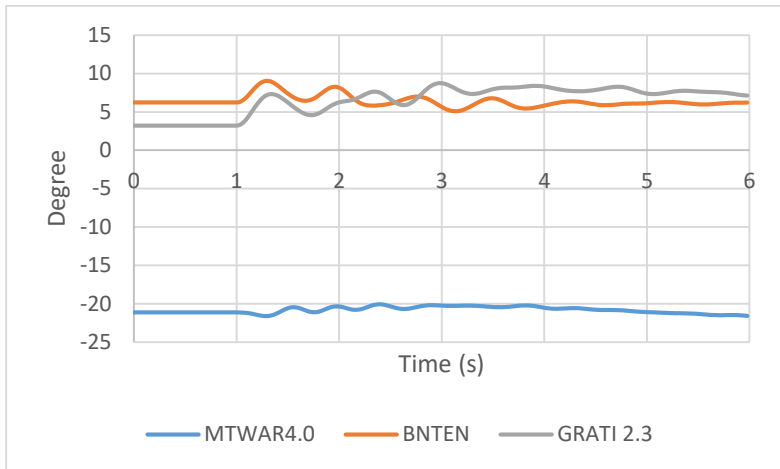
4.3.3 Pelepasan Saluran Ganda Tanpa Gangguan

Pada kasus ini dilakukan tiga kali percobaan saluran ganda tanpa gangguan pada kondisi beban dasar. Dimana setiap kali percobaan, saluran ganda dengan aliran daya terbesar yang akan dilepaskan dari sistem yaitu saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2, saluran Kembangan ke Cikupa dan saluran Lekong menuju ke Balaraja. Dan analisis dari hasil simulasi untuk studi kasus pelepasan saluran ganda tanpa gangguan adalah sebagai berikut:

4.3.3.1 Saluran Cilamaya-Cibatu 2 Lepas dari Sistem pada $t=1s$

Pada kasus pertama ini, saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2 yang memiliki aliran daya sebesar 1279.178 MW akan lepas dari sistem

transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025 tanpa gangguan. Sehingga didapat hasil simulasi pelepasan saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2 sebagai berikut:

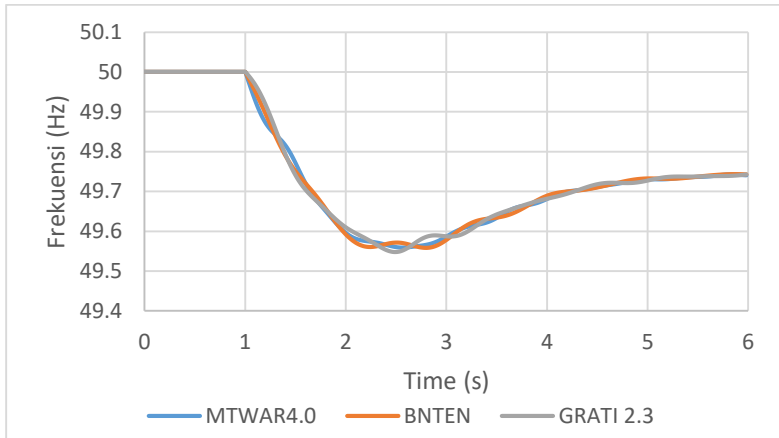


Gambar 4.73 Respon sudut rotor saat lepasnya saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2

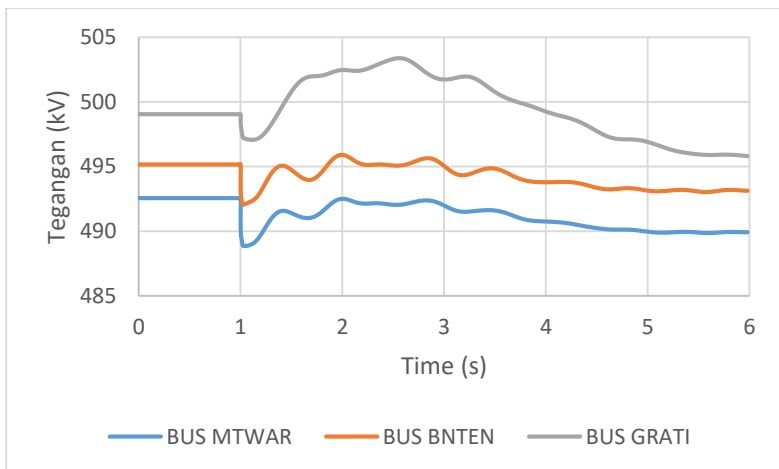
Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.73 diatas. Dimana pada generator Banten nilai sudut rotornya turun dari 6.23° ke 6.2° dan pada generator Muara Tawar 4.0 nilai sudut rotornya juga turun dari -21.14° ke -21.6° , sedangkan pada generator Grati 2.3 nilai sudut rotornya naik dari 3.22° ke 7.13° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun pada detik ke 6, respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.74. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena terlepasnya saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2 yang memiliki aliran daya sebesar 1279.177 MW, akan tetapi setelah itu frekuensi mengalami osilasi, namun frekuensi cenderung menuju titik *steady state*. Dan pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.74 Hz untuk generator Banten, 49.743 Hz untuk generator Muara Tawar 4.0 dan 49.742 Hz

untuk generator Grati 2.3. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



Gambar 4.74 Respon frekuensi saat lepasnya saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2

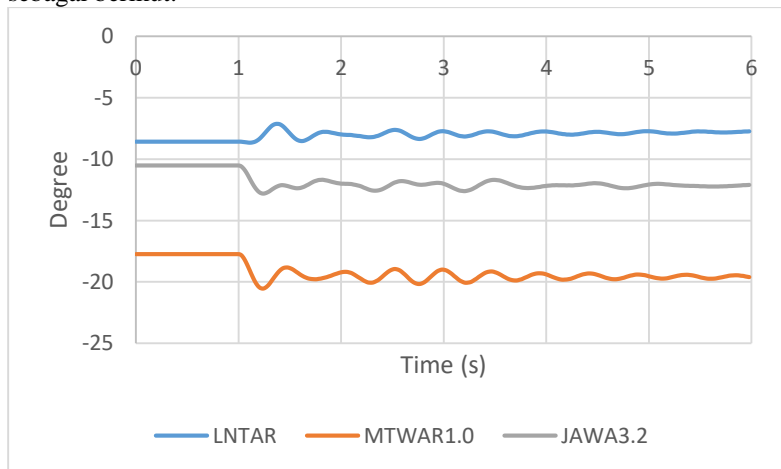


Gambar 4.75 Respon tegangan saat lepasnya saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2

Begitupun respon tegangan seperti yang terlihat pada Gambar 4.75 juga mengalami perubahan karena terlepasnya saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2 yang memiliki aliran daya sebesar 1279.177 MW. Meskipun tegangannya mengalami isolasi, namun tegangan cenderung menuju titik *steady state*. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Banten turun menjadi 493.12 kV, dan pada bus Muara Tawar turun menjadi 489.92 kV serta pada bus Gresik turun menjadi 495.79 kV dari nilai awalnya sebelum gangguan. Namun berdasarkan standar dari PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

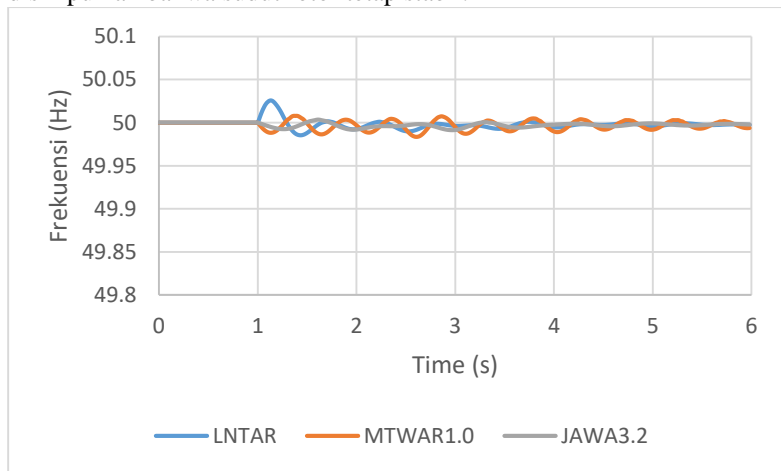
4.3.3.2 Saluran Kembangan-Cikupa Lepas dari Sistem pada $t=1s$

Pada kasus kedua ini, saluran Kembangan menuju ke Cikupa yang memiliki aliran daya sebesar 1233.677 MW akan lepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025 tanpa gangguan. Sehingga didapat hasil simulasi saluran Kembangan menuju ke Cikupa sebagai berikut:



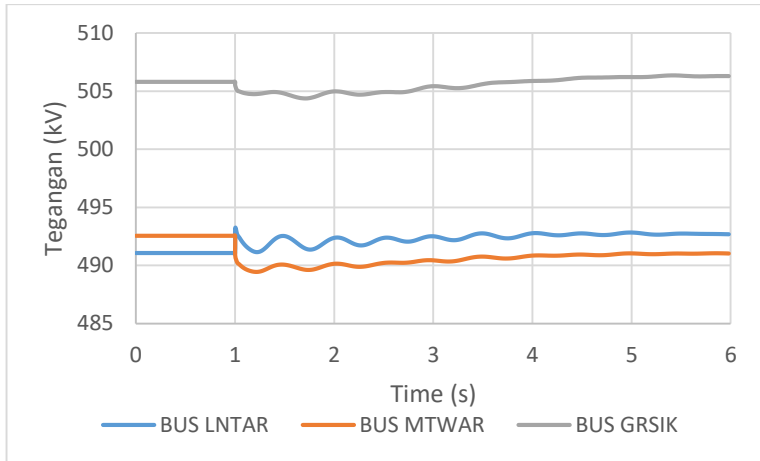
Gambar 4.76 Respon sudut rotor saat lepasnya saluran Kembangan menuju ke Cikupa

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.76 diatas. Dimana pada generator Lontar nilai sudut rotornya naik dari -8.57° ke -7.73° , sedangkan pada generator Muara Tawar 1.0 nilai sudut rotornya turun dari -19.61° ke -30.22° dan pada generator Jawa 3.2 nilai sudut rotornya juga turun dari -10.51° ke -12.1° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun pada detik ke 6, respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.



Gambar 4.77 Respon frekuensi saat lepasnya saluran saluran Kembangan menuju ke Cikupa

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.77. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena terlepasnya saluran saluran Kembangan menuju ke Cikupa yang memiliki aliran daya sebesar 1233.677 MW, akan tetapi setelah itu frekuensi mengalami osilasi, namun frekuensi cenderung menuju titik *steady state*. Dan pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.997 Hz untuk generator Lontar, 49.994 Hz untuk generator Muara Tawar 1.0 dan 49.998 Hz untuk generator Jawa 3.2. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



Gambar 4.78 Respon tegangan saat lepasnya saluran Kembangan menuju ke Cikupa

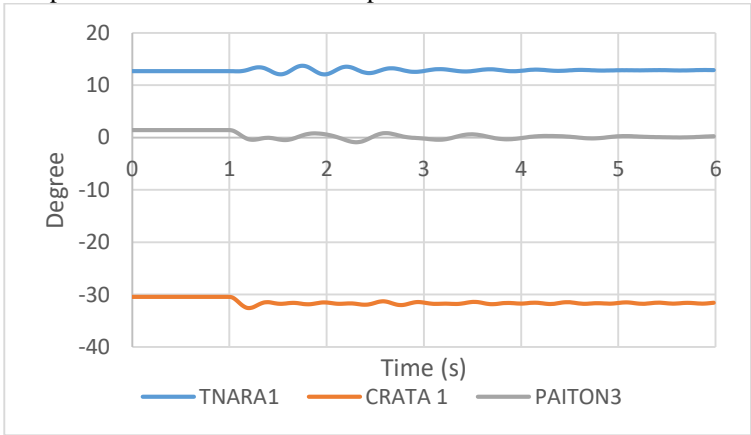
Begitupun respon tegangan seperti yang terlihat pada Gambar 4.78 juga mengalami perubahan karena terlepasnya saluran Cilamaya menuju ke Cibatu 2 yang memiliki aliran daya sebesar 1233.677 MW. Meskipun tegangannya mengalami isolasi, namun tegangan cenderung menuju titik *steady state*. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Lontar naik menjadi 492.68 kV, dan pada bus Muara Tawar turun menjadi 491.03 kV serta pada bus Gresik naik menjadi 506.28 kV dari nilai awalnya sebelum terjadi gangguan. Namun berdasarkan standar dari PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

4.3.3.3 Saluran Balaraja-Lekong Lepas dari Sistem pada $t=1s$

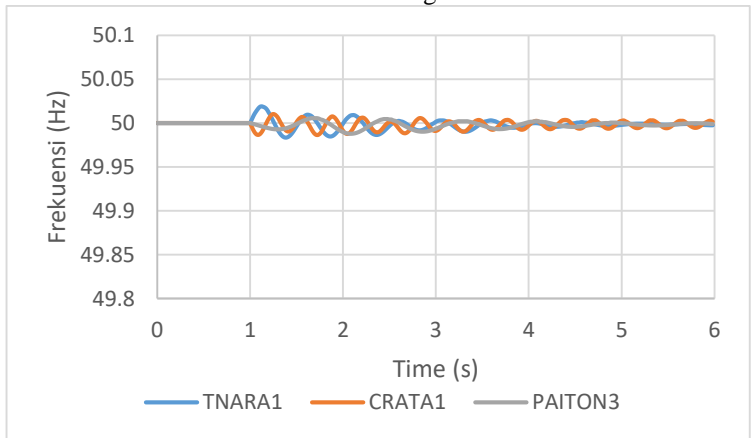
Pada kasus ketiga ini, saluran Balaraja menuju ke Lekong yang memiliki aliran daya sebesar 1167.829 MW akan lepas dari sistem transmisi Jawa-Madura-Bali 500 kV pada tahun 2025 tanpa gangguan. Sehingga didapat hasil simulasi pelepasan satu saluran dari saluran Balaraja menuju ke Lekong sebagai berikut:

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami perubahan dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.79 diatas. Dimana pada generator Tanjung Ara 1 nilai sudut rotornya naik dari 12.69° ke 12.89° , sedangkan pada generator Cirata 1

nilai sudut rotornya turun dari -30.43° ke -31.56° dan pada generator Paiton 3 nilai sudut rotornya juga turun dari 1.4° ke 0.24° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun pada detik ke 6, respon sudut rotornya mampu mencapai *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

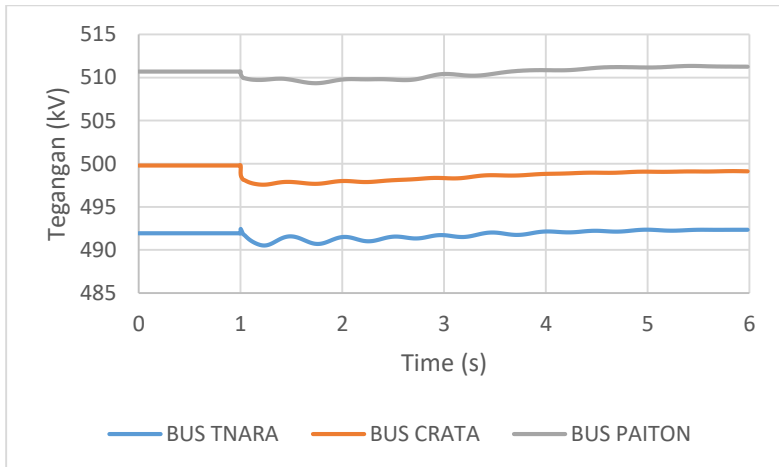


Gambar 4.79 Respon sudut rotor saat lepasnya saluran Balaraja menuju ke Lekong



Gambar 4.80 Respon frekuensi saat lepasnya saluran Balaraja menuju ke Lekong

Sedangkan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami perubahan ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.80. Dimana frekuensi pada generator mengalami penurunan karena terlepasnya saluran Balaraja menuju ke Lekong yang memiliki aliran daya sebesar 1167.829 MW, akan tetapi setelah itu frekuensi mengalami osilasi, namun frekuensi cenderung menuju titik *steady state*. Dan pada detik ke 6 nilai frekuensinya yaitu 49.9975 Hz untuk generator Tanjung Ara 1, 50.0015 Hz untuk generator Cirata 1 dan 49.99 Hz untuk generator Paiton 3. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



Gambar 4.81 Respon tegangan saat lepasnya saluran Balaraja menuju ke Lekong

Begitupun respon tegangan seperti yang terlihat pada Gambar 4.81 juga mengalami perubahan karena terlepasnya saluran Balaraja menuju ke Lekong yang memiliki aliran daya sebesar 1167.829 MW. Meskipun tegangannya mengalami isolasi, namun tegangan cenderung menuju titik *steady state*. Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Tanjung Ara naik menjadi 492.33 kV, dan pada bus Cirata turun menjadi 499.12 kV serta pada bus Paiton naik menjadi 511.26 kV dari nilai awalnya sebelum gangguan. Namun berdasarkan standar dari PLN

untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

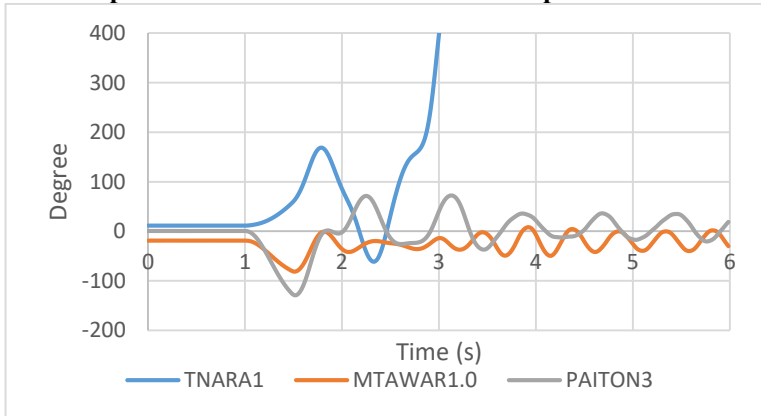
4.3.4 Critical Clearing Time (CCT)

Pada studi kasus ini dilakukan analisis kestabilan transien untuk menentukan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT), namun sebelumnya dilakukan simulasi analisis hubung singkat untuk mengetahui 3 bus yang memiliki arus hubung singkat 3 fasa paling besar pada kondisi beban dasar. Sehingga berdasarkan Tabel 4.4 yang merupakan hasil simulasi analisis hubung singkat 3 fasa, didapatkan 3 bus dengan arus hubung singkat terbesar yaitu bus Muara Tawar, bus Gandul dan bus Cibinong. Dan untuk analisis dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus menentukan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) adalah sebagai berikut:

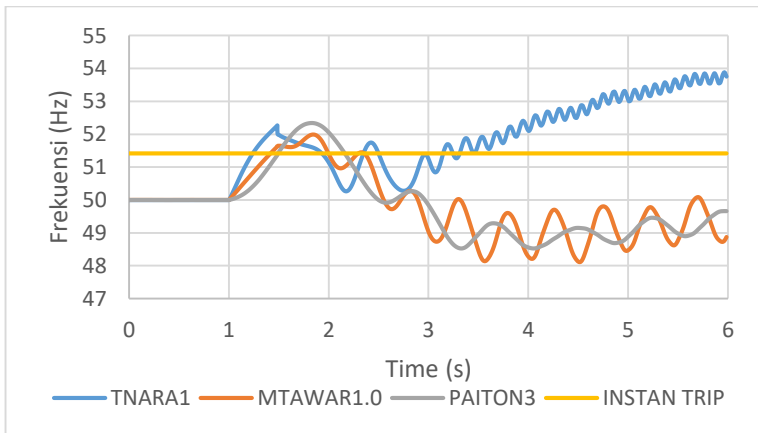
4.3.4.1 Hubung Singkat 3 Fasa Saluran Muara Tawar-Bekasi (dekat Bus Muara Tawar)

Pada kasus pertama ini, hubung singkat 3 fasa terjadi pada saluran Muara Tawar-Bekasi (dekat bus Muara Tawar). Dimana dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus ini, didapatkan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) yaitu 0.484 untuk kondisi stabil pada respon sudut rotor dan 0.485 untuk kondisi tidak stabil pada respon sudut rotor. Namun pada waktu pemutusan kritis baik 0.484 s maupun 0.485 s, respon frekuensi masih dalam range tidak aman. Sehingga waktu pemutusan krisis untuk range aman pada respon frekuensi adalah 0.238 s. Sedangkan hasil simulasi studi kasus menentukan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) adalah sebagai berikut:

a. Waktu pemutusan kritis untuk kondisi stabil pada sudut rotor



Gambar 4.82 Sudut rotor tidak stabil kritis, CB *Open* 0.485 detik

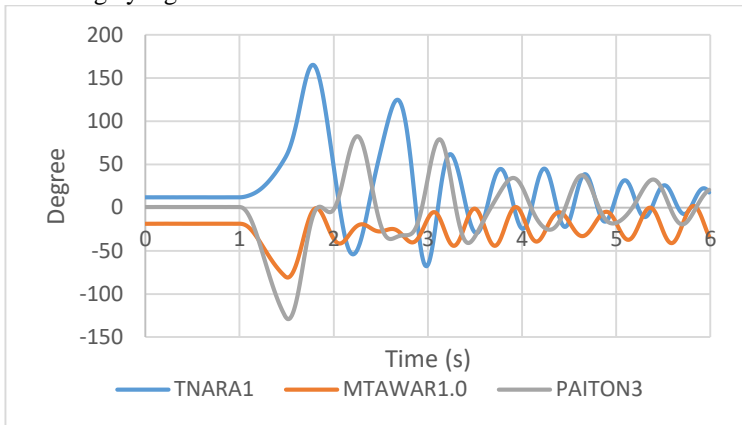


Gambar 4.83 Frekuensi range tidak aman, CB *Open* 0.485 detik

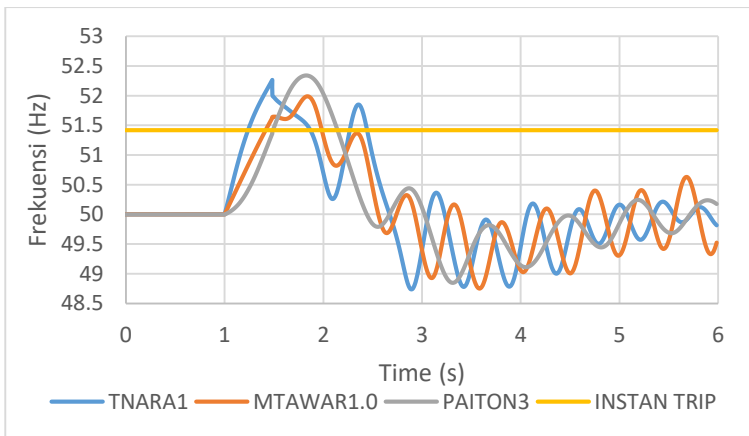
Terlihat pada Gambar 4.82 ketika terjadi gangguan dan CB terbuka pada saat 0.485 detik, respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi. Akan tetapi respon sudut rotor pada generator Tanjung Ara 1 mengalami kenaikan sampai melebihi batas kestabilan sebesar 180° dan generator tidak mampu meredam yang menyebabkan generator akan mengalami slipping pole terus menerus dan generator akan lepas

sinkron dengan sistem. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor tidak stabil.

Dan respon frekuensi pada semua generator juga mengalami osilasi, hingga frekuensi pada generator Tanjung Ara 1 mencapai 53.88 Hz sebagaimana terlihat pada Gambar 4.83 yang melebihi batas frekuensi berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 sebesar 51.417 Hz. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon frekuensi dalam range yang tidak aman.



Gambar 4.84 Sudut rotor stabil, CB *Open* 0.484 detik

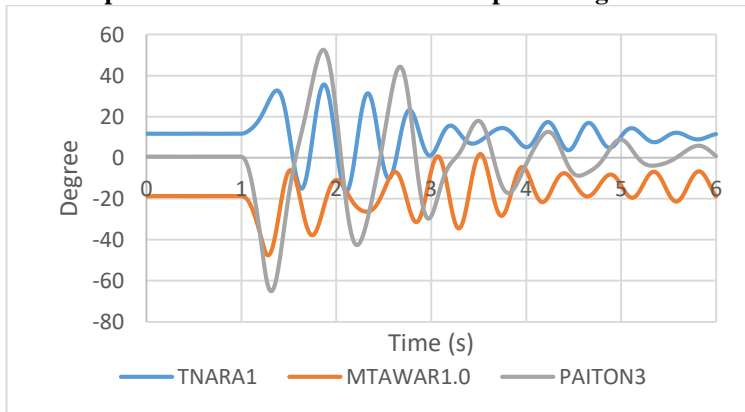


Gambar 4.85 Frekuensi range tidak aman, CB *Open* 0.484 detik

Sedangkan ketika terjadi gangguan dan CB terbuka pada saat 0.484 detik yang terlihat pada Gambar 4.84, respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi. Dan menyebabkan respon sudut rotor pada generator Tanjung Ara 1 mengalami kenaikan sampai 164.87° , akan tetapi generator mampu meredam dan respon sudut rotornya berangsur menurun hingga nilainya dibawah 90° . Respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor stabil.

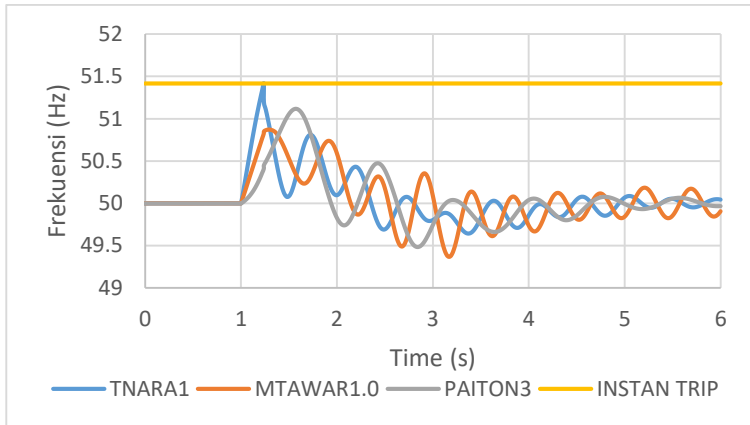
Respon frekuensi pada semua generator juga mengalami osilasi, namun frekuensi pada generator Paiton 3 naik hingga mencapai 52.34 Hz sebagaimana terlihat pada Gambar 4.85 yang melebihi batas frekuensi berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 sebesar 51.417 Hz. Dan dapat ditarik kesimpulan bahwa respon frekuensi dalam range yang tidak aman, meskipun respon sudut rotor dalam keadaan stabil. Sehingga untuk mendapatkan frekuensi yang aman, maka diperlukan pencarian waktu pembukaan CB kembali.

b. Waktu pemutusan kritis untuk frekuensi pada range aman



Gambar 4.86 Sudut rotor stabil, CB Open 0.238 detik

Pada Gambar 4.86 menunjukkan respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi yang menyebabkan respon sudut rotor pada generator Paiton 3 mengalami kenaikan hingga maksimal 52.52° dan minimal -65.07° . Karena generator mampu meredam dan respon sudut rotornya berangsur menurun menuju titik *steady state*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor stabil.



Gambar 4.87 Frekuensi range aman, CB *Open* 0.238 detik

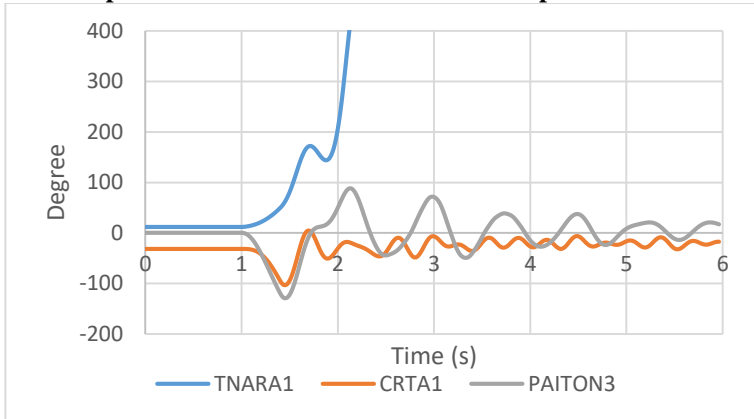
Sedangkan respon frekuensi pada generator Tanjung Ara 1 mengalami isolasi seperti yang terlihat pada Gambar 4.87, namun kenaikannya hanya mencapai 51.4155 Hz dan tidak melewati batas frekuensi yang ditetapkan pada standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 yaitu 51.417 Hz. Serta respon frekuensinya cenderung menuju titik *steady state* dan masih dalam batas standar frekuensi dengan *continuous operating range* 49.583 – 50.417 Hz. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pada pembukaan CB pada 0.238 detik, respon sudut rotor stabil dan frekuensi pada range aman.

4.3.4.2 Hubung Singkat 3 Fasa Saluran Gandul-Depok (dekat Bus Gandul)

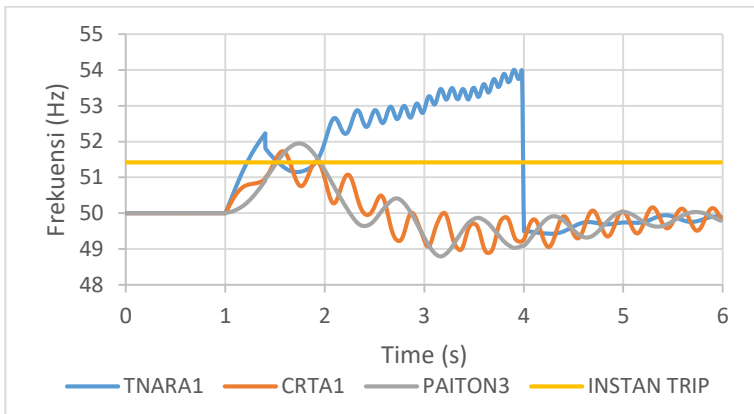
Pada kasus pertama ini, hubung singkat 3 fasa terjadi pada saluran Gandul-Depok (dekat bus Gandul). Dimana dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus ini, didapatkan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) yaitu 0.401 s untuk kondisi stabil pada respon sudut rotor dan 0.402 s untuk kondisi tidak stabil pada respon sudut rotor. Namun pada waktu pemutusan kritis baik 0.401 s maupun 0.402 s, respon frekuensi masih dalam range tidak aman. Sehingga waktu pemutusan kritis untuk range aman pada respon frekuensi adalah 0.218 s. Sedangkan hasil simulasi studi kasus

menentukan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) adalah sebagai berikut:

a. Waktu pemutusan kritis untuk kondisi stabil pada sudut rotor



Gambar 4.88 Sudut rotor tidak stabil kritis, CB *Open* 0.402 detik

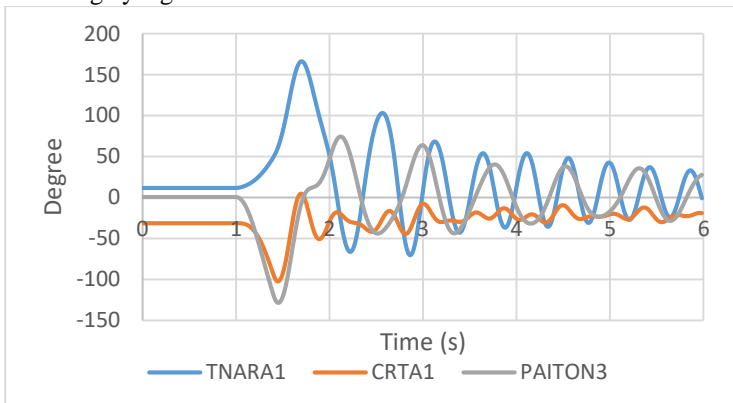


Gambar 4.89 Frekuensi range tidak aman, CB *Open* 0.402 detik

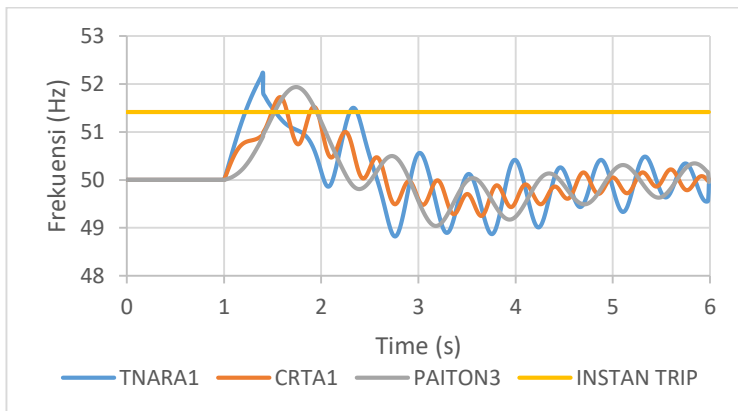
Terlihat pada Gambar 4.88 ketika terjadi gangguan dan CB terbuka pada saat 0.402 detik, respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi. Akan tetapi respon sudut rotor pada generator Tanjung Ara 1 mengalami kenaikan sampai melebihi batas kestabilan sebesar 180° dan generator tidak mampu meredam yang menyebabkan generator

akan mengalami slipping pole terus menerus dan generator akan lepas sinkron dengan sistem. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor tidak stabil.

Dan respon frekuensi pada semua generator juga mengalami osilasi, hingga frekuensi pada generator Tanjung Ara 1 mencapai 54.01 Hz sebagaimana terlihat pada Gambar 4.89 yang melebihi batas frekuensi berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 sebesar 51.417 Hz. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon frekuensi dalam range yang tidak aman.



Gambar 4.90 Sudut rotor stabil, CB *Open* 0.401 detik

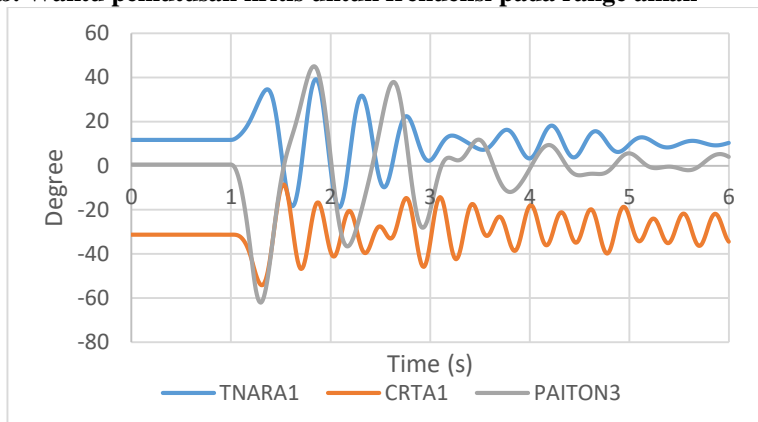


Gambar 4.91 Frekuensi range tidak aman, CB *Open* 0.401 detik

Sedangkan ketika terjadi gangguan dan CB terbuka pada saat 0.401 detik yang terlihat pada Gambar 4.90, respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi. Dan menyebabkan respon sudut rotor pada generator Tanjung Ara 1 mengalami kenaikan sampai 166.17° , akan tetapi generator mampu meredam dan respon sudut rotornya berangsur menurun hingga nilainya dibawah 90° . Respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor stabil.

Respon frekuensi pada semua generator juga mengalami osilasi, namun frekuensi pada generator Tanjung Ara 1 naik hingga mencapai 52.229 Hz sebagaimana terlihat pada Gambar 4.91 yang melebihi batas frekuensi berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 sebesar 51.417 Hz. Dan dapat ditarik kesimpulan bahwa respon frekuensi dalam range yang tidak aman, meskipun respon sudut rotor dalam keadaan stabil. Sehingga untuk mendapatkan frekuensi yang aman, maka diperlukan pencarian waktu pembukaan CB kembali.

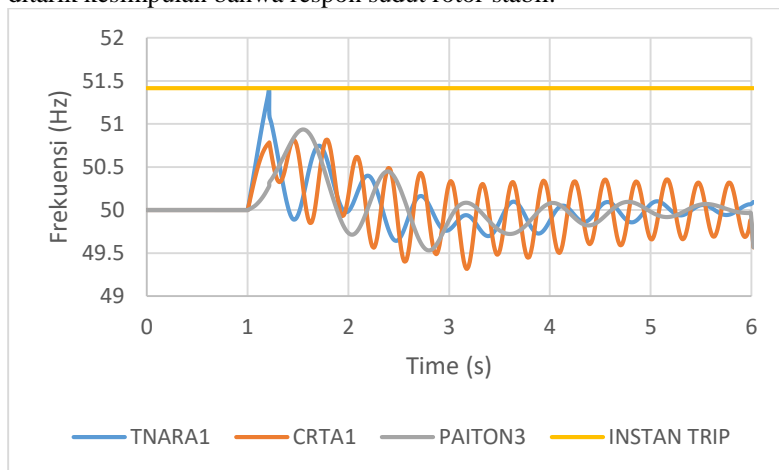
b. Waktu pemutusan kritis untuk frekuensi pada range aman



Gambar 4.92 Sudut rotor stabil, CB *Open* 0.218 detik

Pada Gambar 4.92 menunjukkan respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi yang menyebabkan respon sudut rotor pada generator Paiton 3 mengalami kenaikan hingga maksimal 44.95° dan minimal -62.01° . Karena generator mampu meredam dan respon sudut

rotornya berangsur menurun menuju titik *steady state*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor stabil.



Gambar 4.93 Frekuensi range aman, CB *Open* 0.218 detik

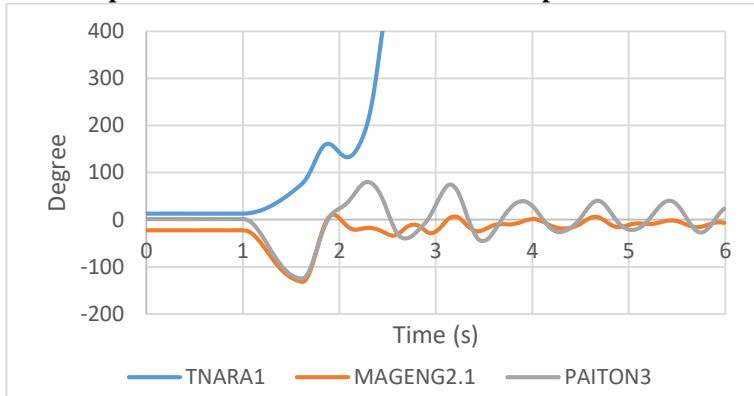
Sedangkan respon frekuensi pada generator Tanjung Ara 1 mengalami isolasi seperti yang terlihat pada Gambar 4.93, namun kenaikannya hanya mencapai 51.416 Hz dan tidak melewati batas frekuensi yang ditetapkan pada standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 yaitu 51.417 Hz. Serta respon frekuensinya cenderung menuju titik *steady state* dan masih dalam batas standar frekuensi dengan *continuous operating range* 49.583 – 50.417 Hz. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pada pembukaan CB pada 0.218 detik, respon sudut rotor stabil dan frekuensi pada range aman.

4.3.4.3 Hubung Singkat 3 Fasa Saluran Cibinong-Depok (dekat Bus Cibinong)

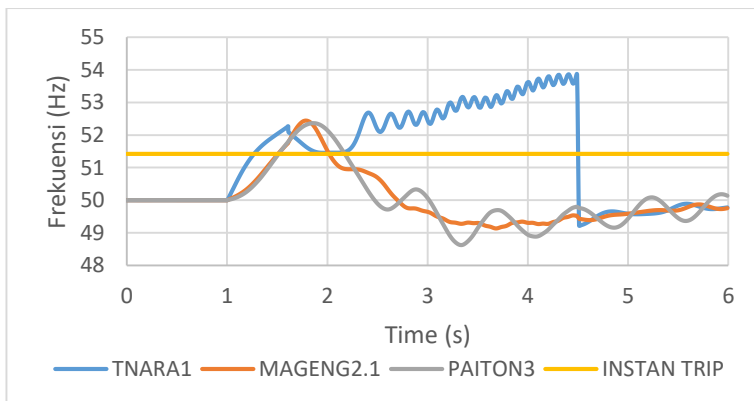
Pada kasus ketiga ini, hubung singkat 3 fasa terjadi pada saluran Cibinong-Depok (dekat bus Cibinong). Dimana dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus ini, didapatkan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) yaitu 0.608 s untuk kondisi stabil pada respon sudut rotor dan 0.609 s untuk kondisi tidak stabil pada respon sudut rotor. Namun pada waktu pemutusan kritis baik 0.608 s maupun 0.609 s, respon frekuensi masih dalam range tidak

aman. Sehingga waktu pemutusan krisis untuk range aman pada respon frekuensi adalah 0.265 s. Sedangkan hasil simulasi studi kasus menentukan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time*(CCT) adalah sebagai berikut:

a. Waktu pemutusan kritis untuk kondisi stabil pada sudut rotor



Gambar 4.94 Sudut rotor tidak stabil kritis, CB *Open* 0.609 detik

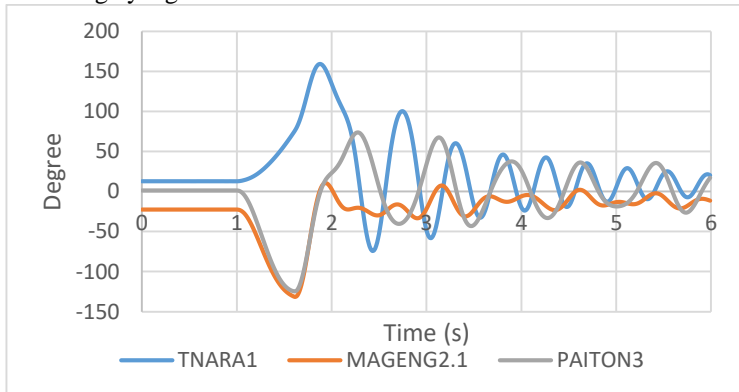


Gambar 4.95 Frekuensi range tidak aman, CB *Open* 0.609 detik

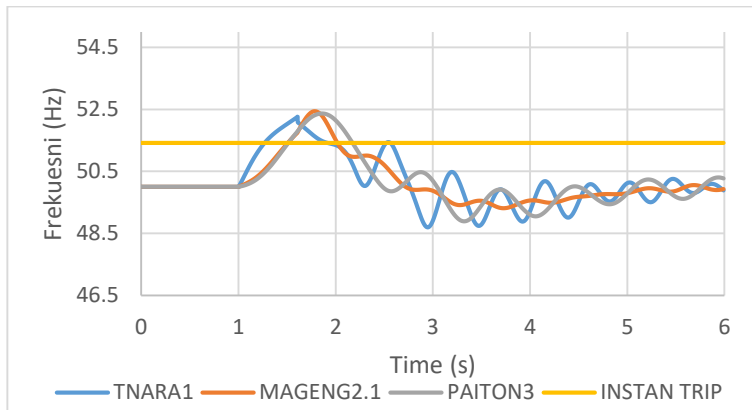
Terlihat pada Gambar 4.94 ketika terjadi gangguan dan CB terbuka pada saat 0.609 detik, respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi. Akan tetapi respon sudut rotor pada generator Tanjung Ara 1 mengalami kenaikan sampai melebihi batas kestabilan sebesar

180° dan generator tidak mampu meredam yang menyebabkan generator akan mengalami slipping pole terus menerus dan generator akan lepas sinkron dengan sistem. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor tidak stabil.

Dan respon frekuensi pada semua generator juga mengalami osilasi, hingga frekuensi pada generator Tanjung Ara 1 mencapai 53.861 Hz sebagaimana terlihat pada Gambar 4.95 yang melebihi batas frekuensi berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 sebesar 51.417 Hz. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon frekuensi dalam range yang tidak aman.



Gambar 4.96 Sudut rotor stabil, CB *Open* 0.608 detik

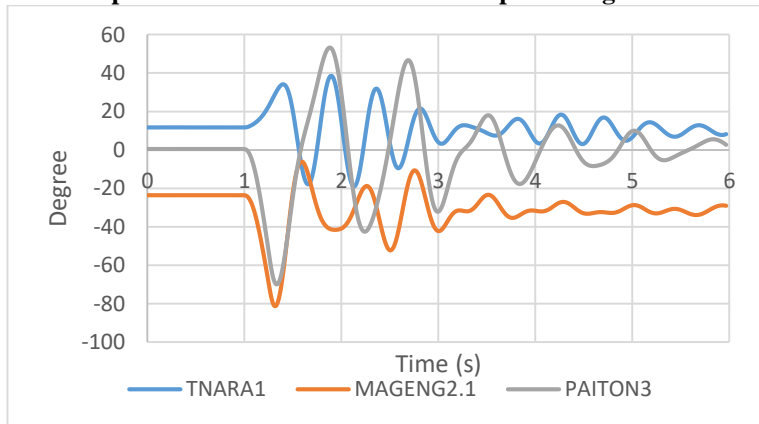


Gambar 4.97 Frekuensi range tidak aman, CB *Open* 0.608 detik

Sedangkan ketika terjadi gangguan dan CB terbuka pada saat 0.608 detik yang terlihat pada Gambar 4.96, respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi. Dan menyebabkan respon sudut rotor pada generator Tanjung Ara 1 mengalami kenaikan sampai 158.89° , akan tetapi respon sudut rotornya berangsur menurun dan tidak melebihi batas kestabilan sebesar 180° . Respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor stabil.

Respon frekuensi pada semua generator juga mengalami osilasi, namun frekuensi pada generator Matenggeng 2.1 naik hingga mencapai 52.44 Hz sebagaimana terlihat pada Gambar 4.97 yang melebihi batas frekuensi berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 sebesar 51.417 Hz. Dan dapat ditarik kesimpulan bahwa respon frekuensi dalam range yang tidak aman, meskipun respon sudut rotor dalam keadaan stabil. Sehingga untuk mendapatkan frekuensi yang aman, maka diperlukan pencarian waktu pembukaan CB kembali.

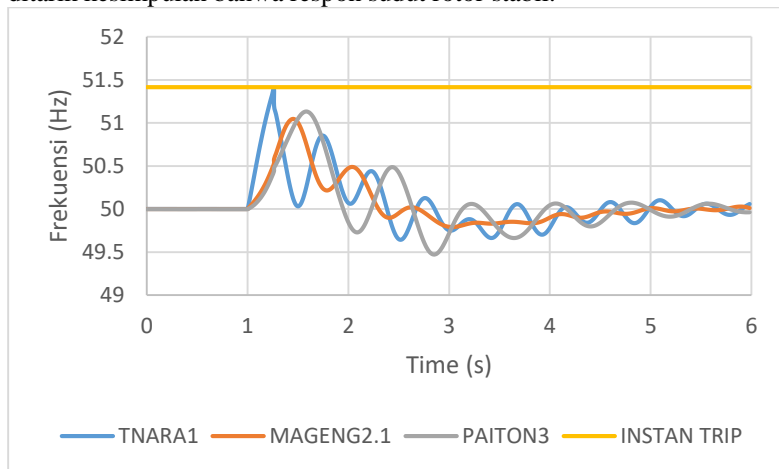
b. Waktu pemutusan kritis untuk frekuensi pada range aman



Gambar 4.98 Sudut rotor stabil, CB *Open* 0.265 detik

Pada Gambar 4.98 menunjukkan respon sudut rotor pada semua generator terjadi osilasi yang menyebabkan respon sudut rotor pada generator Paiton 3 mengalami kenaikan hingga maksimal 53.12° dan minimal -77.92° . Karena generator mampu meredam dan respon sudut

rotornya berangsur menurun menuju titik *steady state*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa respon sudut rotor stabil.



Gambar 4.99 Frekuensi range aman, CB *Open* 0.265 detik

Sedangkan respon frekuensi pada generator Tanjung Ara 1 mengalami isolasi seperti yang terlihat pada Gambar 4.99, namun kenaikannya hanya mencapai 51.4135 Hz dan tidak melewati batas frekuensi yang ditetapkan pada standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 yaitu 51.417 Hz. Serta respon frekuensinya cenderung menuju titik *steady state* dan masih dalam batas standar frekuensi dengan *continuous operating range* 49.583 – 50.417 Hz. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pada pembukaan CB pada 0.265 detik, respon sudut rotor stabil dan frekuensi pada range aman.

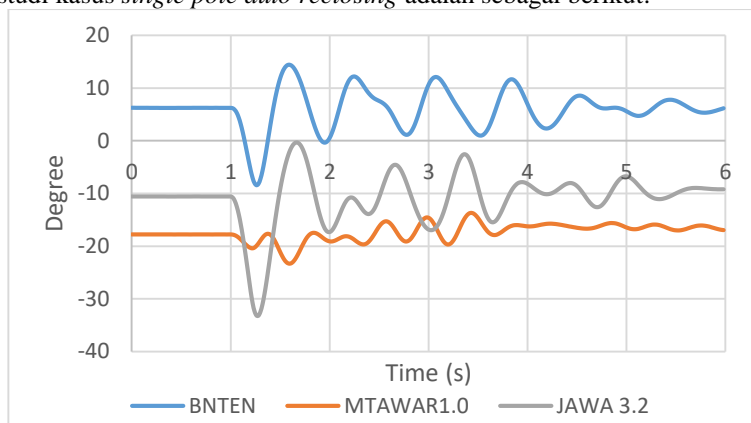
4.3.5 Single Pole Auto Reclosing

Pada studi kasus ini dilakukan analisis kestabilan transien untuk menentukan waktu *single pole auto reclosing*, namun sebelumnya dilakukan simulasi analisis hubung singkat seperti *critical clearing time*(CCT) untuk mengetahui 3 bus yang memiliki arus hubung singkat 1 fasa ke tanah paling besar pada kondisi beban dasar. Sehingga berdasarkan Tabel 4.6 yang merupakan hasil simulasi analisis hubung singkat 1 fasa ke tanah, didapatkan 3 bus dengan arus hubung singkat terbesar yaitu bus Muara Tawar, bus Gandul dan bus Bekasi. Dan untuk

analisis dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus menentukan waktu *single pole auto reclosing* adalah sebagai berikut:

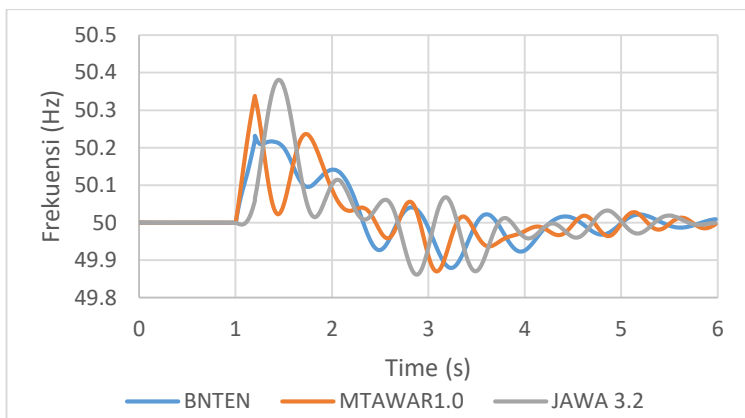
4.3.5.1 Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah pada Saluran Muara Tawar-Priok(dekat Bus Muara Tawar)

Pada kasus pertama ini, hubung singkat 1 fasa ke tanah terjadi pada saluran Muara Tawar-Priok (dekat bus Muara Tawar). Dimana dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus ini, didapatkan penentuan waktu *single pole auto reclosing* yaitu 0.2 s untuk pembukaan CB dan 0.9 s untuk waktu penutupan CB kembali berdasarkan rekomendasi oleh PLN untuk jenis *single pole auto reclose* (SPAR) dengan waktu 0.8 – 1 detik. Sedangkan hasil simulasi studi kasus *single pole auto reclosing* adalah sebagai berikut:



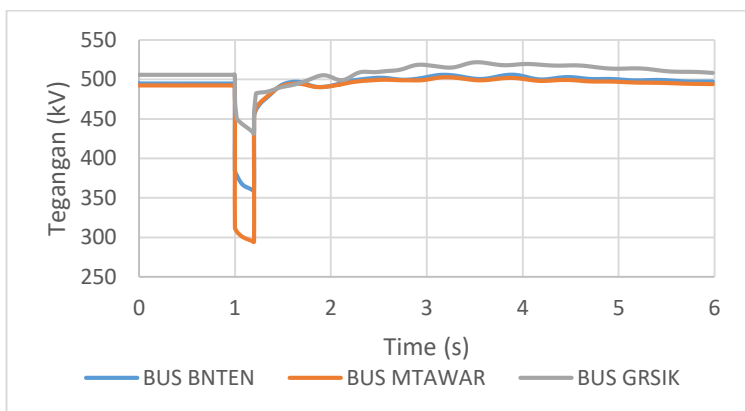
Gambar 4.100 Respon sudut rotor untuk kasus pertama

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami isolasi dan berubah dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.100 diatas. Dimana sudut rotor pada generator Jawa 3.2 mengalami isolasi paling besar hingga mencapai -33.16° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun isolasi yang terjadi mampu diredam dan respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.



Gambar 4.101 Respon frekuensi untuk kasus pertama

Dan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami isolasi ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.101. Dimana frekuensi pada generator Jawa 3.2 mengalami kenaikan hingga 50.38 Hz, namun respon frekuensi meredam dan berangsur kembali menuju titik *steady state*. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.

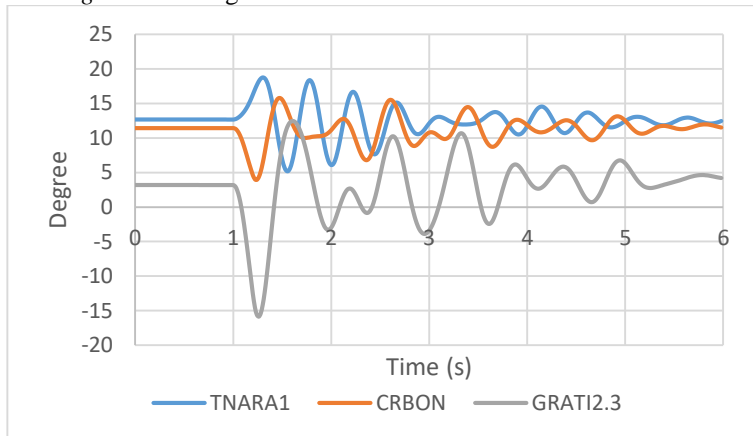


Gambar 4.102 Respon tegangan untuk kasus pertama

Sedangkan respon tegangan juga mengalami penurunan hingga mencapai 294.51 kV atau 58.9% dari tegangan nominalnya sebagaimana terlihat pada Gambar 4.102, maka kedip tegangan diatas 50% dan dibawah 70% yang diperbolehkan selama 0.2 detik berdasarkan standar voltage sag SEMI F47. Akan tetapi tegangan kembali naik pada 0.2 detik dan menuju titik *steady state*, Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Banten menjadi 497.43 kV, dan pada bus Muara Tawar menjadi 494.05 kV serta pada bus Gresik menjadi 508.14 kV. Dan untuk kondisi *steady state* berdasarkan standar PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

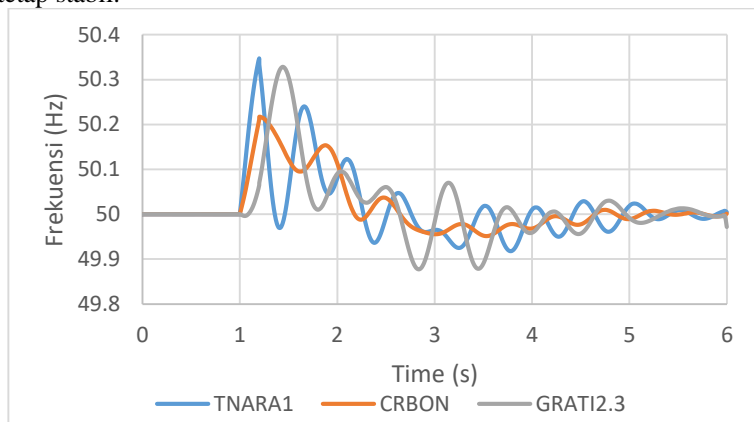
4.3.5.2 Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah pada Saluran Gandul-Depok(dekat Bus Gandul)

Pada kasus kedua ini, hubung singkat 1 fasa ke tanah terjadi pada saluran Gandul-Depok (dekat bus Gandul). Dimana dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus ini, didapatkan penentuan waktu *single pole auto reclosing* yaitu 0.2 s untuk pembukaan CB dan 0.9 s untuk waktu penutupan CB kembali berdasarkan rekomendasi oleh PLN untuk jenis *single pole auto reclose* (SPAR) dengan waktu 0.8 – 1 detik. Sedangkan hasil simulasi studi kasus *single pole auto reclosing* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.103 Respon sudut rotor untuk kasus kedua

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami isolasi dan berubah dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.103 diatas. Dimana sudut rotor pada generator Tanjung Ara 1 mengalami isolasi paling besar hingga mencapai 18.77° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun isolasi yang terjadi mampu diredam dan respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

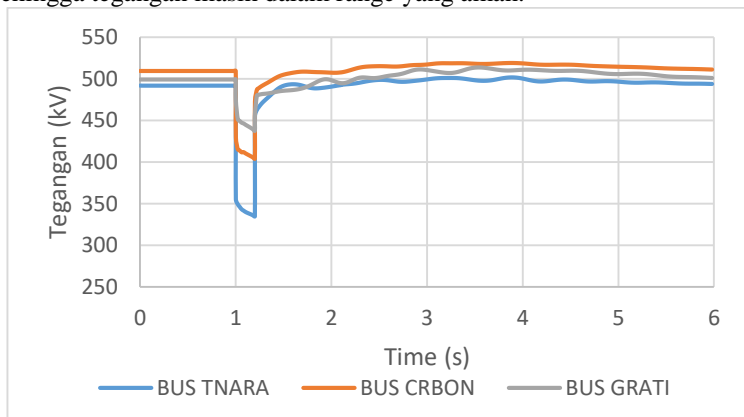


Gambar 4.104 Respon frekuensi untuk kasus kedua

Dan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami isolasi ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.104. Dimana frekuensi pada generator Tanjung Ara 1 mengalami kenaikan hingga 50.35 Hz, namun respon frekuensi meredam dan berangsur kembali menuju titik *steady state*. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.

Sedangkan respon tegangan juga mengalami penurunan hingga mencapai 334.78 kV atau 66.96% dari tegangan nominalnya sebagaimana terlihat pada Gambar 4.105, maka kedip tegangan diatas 50% dan dibawah 70% yang diperbolehkan selama 0.2 detik berdasarkan standar voltage sag SEMI F47. Akan tetapi tegangan kembali naik pada 0.2 detik dan menuju titik *steady state*, Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Tanjung Ara menjadi 493.92 kV, dan pada

bus Cirebon menjadi 510.96 kV serta pada bus Grati menjadi 500.85 kV. Dan untuk kondisi *steady state* berdasarkan standar PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

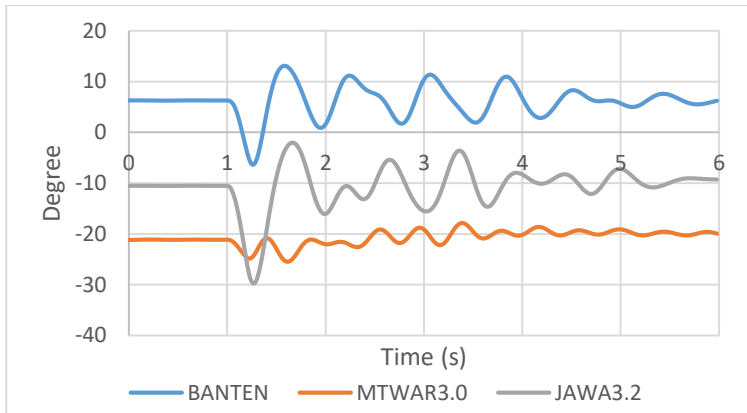


Gambar 4.105 Respon tegangan untuk kasus kedua

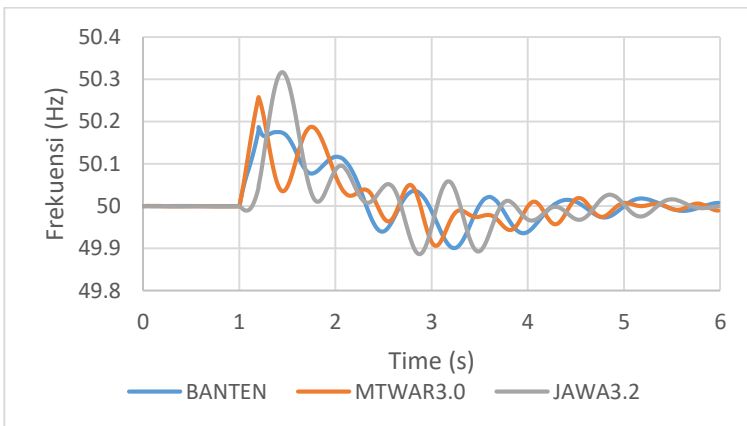
4.3.5.3 Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah pada Saluran Bekasi-Muara Tawar(dekat Bus Bekasi)

Pada kasus ketiga ini, hubung singkat 1 fasa ke tanah terjadi pada saluran Bekasi-Muara Tawar (dekat bus Bekasi). Dimana dari hasil simulasi analisis kestabilan transien pada studi kasus ini, didapatkan penentuan waktu *single pole auto reclosing* yaitu 0.2 s untuk pembukaan CB dan 0.9 s untuk waktu penutupan CB kembali berdasarkan rekomendasi oleh PLN untuk jenis *single pole auto reclose* (SPAR) dengan waktu 0.8 – 1 detik. Sedangkan hasil simulasi studi kasus *single pole auto reclosing* adalah sebagai berikut:

Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor pada semua generator mengalami isolasi dan berubah dari nilai awalnya sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.106 diatas. Dimana sudut rotor pada generator Jawa 3.2 mengalami isolasi paling besar hingga mencapai -29.78° . meskipun sudut rotornya berubah dan mengalami osilasi, namun isolasi yang terjadi mampu diredam dan respon sudut rotornya cenderung menuju titik *steady state*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa sudut rotor tetap stabil.

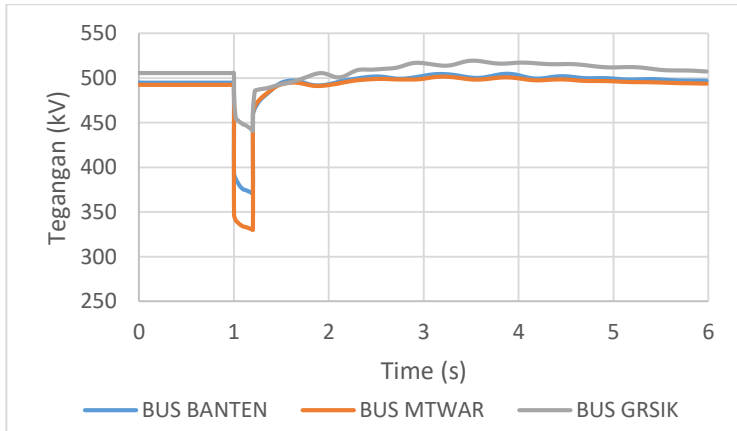


Gambar 4.106 Respon sudut rotor untuk kasus ketiga



Gambar 4.107 Respon frekuensi untuk kasus ketiga

Dan untuk respon frekuensi pada semua generator juga mengalami isolasi ketika terjadi gangguan seperti yang terlihat pada Gambar 4.107. Dimana frekuensi pada generator Jawa 3.2 mengalami kenaikan hingga 50.317 Hz, namun respon frekuensi meredam dan berangsur kembali menuju titik *steady state*. Sehingga berdasarkan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003 bahwa standar frekuensi untuk *continuous operating* yaitu antara 49.583 – 50.417 Hz, maka bisa disimpulkan bahwa frekuensi dalam kondisi aman.



Gambar 4.108 Respon tegangan untuk kasus ketiga

Sedangkan respon tegangan juga mengalami penurunan hingga mencapai 330.15 kV atau 66.03% dari tegangan nominalnya sebagaimana terlihat pada Gambar 4.108, maka kedip tegangan diatas 50% dan dibawah 70% yang diperbolehkan selama 0.2 detik berdasarkan standar voltage sag SEMI F47. Akan tetapi tegangan kembali naik pada 0.2 detik dan menuju titik *steady state*, Dimana pada detik ke 6 tegangan pada bus Banten menjadi 497.12 kV, dan pada bus Muara Tawar menjadi 493.79 kV serta pada bus Gresik menjadi 507.42 kV. Dan untuk kondisi *steady state* berdasarkan standar PLN untuk tegangan nominal 500 kV yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ (475 – 525 kV), sehingga tegangan masih dalam range yang aman.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis, maka pada Tugas Akhir ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada kasus pelepasan pembangkit dilakukan 3 percobaan dengan generator yang dilepas berbeda yaitu generator Bojanegara 1, Indramayu, Suralaya Baru 3 untuk beban puncak dan Bojanegara 1, Cirebon, Cilacap 2 untuk beban dasar dengan kapasitas yang sama sebesar 1000 MW dan pembangkitan yang sama sebesar 800 MW dan 750 MW. Akan tetapi sistem tetap stabil karena kapasitas daya pada pembangkit yang aktif pada sistem masih mencukupi kebutuhan beban.
2. Pada kasus pelepasan satu saluran dari saluran ganda baik kondisi beban puncak maupun beban dasar tidak terlalu mempengaruhi kestabilan sistem dikarenakan masih ada satu saluran yang *membackup* dan menyalurkan daya. Sedangkan pelepasan dua saluran dari saluran ganda baik beban puncak maupun beban dasar, menyebabkan penurunan tegangan pada beberapa bus namun nilainya masih dalam batas aman berdasarkan standar tegangan PLN untuk tegangan nominal 500 kV yaitu $\pm 5\%$.
3. Pada kasus penentuan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time* (CCT) didapatkan waktu pemutusan yang respon sudut rotornya stabil, namun respon frekuensinya tidak aman. Sehingga dicari waktu pemutus yang membuat respon sudut rotornya stabil dan respon frekuensinya aman berdasarkan standar IEEE Std C37.106-2003 dan didapatkan waktu pemutusan pada kondisi beban puncak yaitu 0.264 untuk bus Muara Tawar, 0.266 untuk bus Gandul dan 0.288 untuk bus Kembangan. Sedangkan pada kondisi beban dasar yaitu 0.238 untuk bus Muara Tawar, 0.218 untuk bus Gandul dan 0.265 untuk bus Cibinong.
4. Untuk kasus *single pole auto reclosing* terjadi hubung singkat 1 fasa ke tanah sehingga menyebabkan tegangan menurun antara 50% dan 70% baik kondisi beban puncak maupun pada kondisi beban dasar. Sehingga berdasarkan standar *voltage sag* SEMI F47, maka CB diatur untuk membuka 0.2 detik setelah gangguan,

dan menutup kembali 0.9 detik setelah CB membuka berdasarkan rekomendasi PLN.

5.2 Saran

Setelah dilakukan analisis ini, saran yang dapat diberikan untuk perbaikan yaitu Tugas Akhir ini hanya terbatas pada lima studi kasus untuk analisis kestabilan transien, maka agar menghasilkan hasil yang lebih akurat dapat menambahkan lebih banyak jenis kasus masalah kestabilan transien dan juga untuk analisis kestabilan tranisen khususnya penentuan waktu pemutusan kritis atau *critical clearing time* dapat digunakan metode lain yang lebih akurat dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANSI/IEEE Std 399-1990, "IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial. Power Systems Analysis (IEEE Brown Book)"
2. IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, "*Definition and Classification of Power System Stability*" IEEE Transactions on Power system , vol. 19, no. 2, may 2004.
3. IEEE Std C37.106-2003, "IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants".
4. Kundur, P., "*Power System Stability and Control*", McGraw-Hill, Inc, 1994.
5. Pasific Gas and Electric Company, "Voltage Sag Immunity Standards SEMI-F47 and F42", Power Quality Bulletin, 2007.
6. Penangsang, Ontoseno. "*Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2*", Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
7. PT PLN (Persero). "Perhitungan Setting Relai Autorclose dan Sinkro", Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
8. PT PLN (Persero) No. PDM/PGI/07 : 2014, "Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT)".
9. Rezky, Prima Prahasta," *Studi Analisa Stabilitas Transien Sistem Jawa-Madura-Bali (Jamali) 500kV Setelah Masuknya Pembangkit Paiton 1000 MW Pada Tahun 2021*". Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016.
10. Saadat, H., "*Power System Analysis*", McGraw-Hill, Inc, 1999.

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Fajar Rahman Friansah dilahirkan pada tanggal 23 Nopember 1993 di Kediri. Lahir sebagai anak kedua dari empat bersaudara. Pada tahun 2005, Lulus dari SDN Manukan Kulon VI Surabaya dan melanjutkan studinya ke SLTPN 26 Surabaya. Pada tahun 2008, lulus dari SLTPN 26 Surabaya dan tahun 2011 lulus dari SMA Shafta Surabaya. Penulis diterima menjadi mahasiswa D3 Jurusan Elektro Industri PENS-ITS pada tahun 2011 dan lulus pada tahun 2014. Penulis melanjutkan kuliah dengan program Lintas Jalur Institut Teknologi Sepuluh November pada tahun 2015 dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui email rahmanfriansah@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan